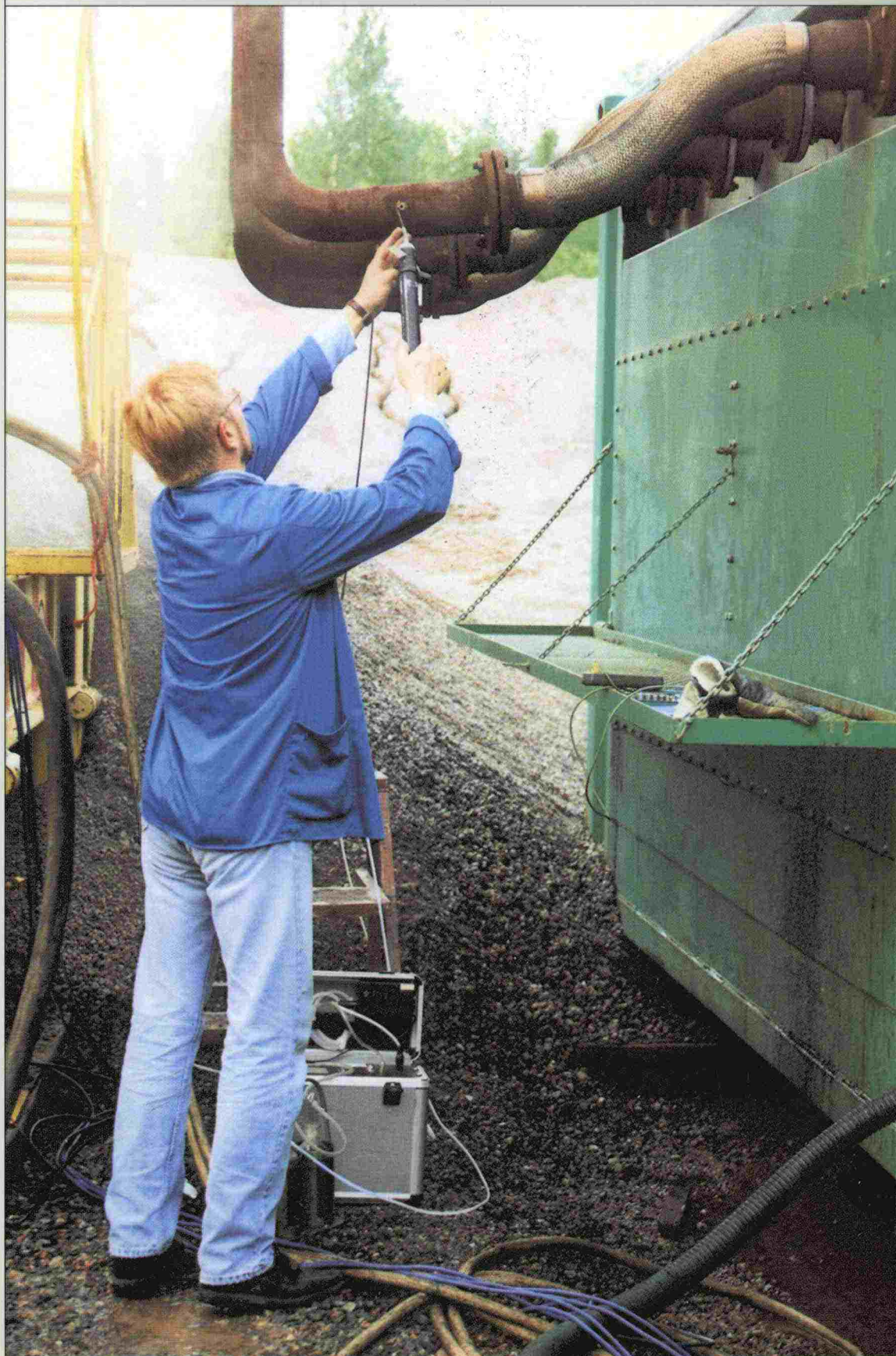




**Tielaitos**

## **PAB-V-päällystetutkimukset 1996**



**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**19/1997**

**Helsinki 1997**

**Tiehallinto**  
Tie- ja liikenne-  
tekniikka

Tielaitoksen selvityksiä  
19/1997

## **PAB-V-päällystetutkimukset 1996**

**Tielaitos**  
Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka

Helsinki 1997

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-345-7  
TIEL 3200466  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallintopalvelut,  
painotuotemyynti  
Telefaksi 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde 0204 44 150



Aiheluokka 42

Asiasanat pehmeät päällysteet, pehmeä asfalttibetoni, pehmeä bitumi

## Tiivistelmä

Noin 90 % vuonna 1996 valmistetuista PAB-V-massoista valmistettiin höyrylämmitystekniikalla. Saman vuoden tutkimuksissakin keskityttiin höyrylämmitystekniikkaan. Tavoitteena oli selvittää massan valmistusprosessin ja päällysteen laadun välistä yhteyttä niin, että massan valmistus hallittaisiin kaikissa olosuhteissa erilaisilla kiviaineksilla. Erityisesti pelättiin, että palotapahtumassa mahdollisesti syntyvät epäpuhtaudet huonontaisivat massan joukkoon joutuessaan sen vedenkestävyyttä. Tutkimusmenetelmiksi valittiin MYR-koe ja savukaasun analysointi.

Yhdeksällä turboasemalla tehtiin MYR-kokeita kesällä 1996. Näistä kuudella asemalla tehtiin myös savukaasumittaukset, joista saatiin selville kiviainesta lämmittävän höyryn CO-, NO<sub>x</sub>- ja O<sub>2</sub>-arvot. Suureltaan CO-arvot eivät kuitenkaan vaikuttaneet massan vedenkestävyyteen. Hyviin arvoihin eli puhtaaseen palamiseen päästiin kuitenkin useimmilla asemilla. Huonon palamisen seurauksena lisääntyy höyrynehittimien polttoaineen kulutus ja huollon tarve.

PAB-V-massoja valmistetaan jonkin verran myös asfalttiasemilla. Kesällä 1996 tehtyjen havaintojen mukaan sideaineen viskositeetti saattaa asfalttiaseman korkeissa sekoituslämpötiloissa kasvaa enemmän kuin turbolämpötiloissa, mikä voi vaikeuttaa varastomassan käsittelyä. Kesällä 1996 tällaista ei kuitenkaan havaittu, vaan asfalttiasemilla V1500-sideaineesta valmistettuihin paikkausmassoihin oltiin tyytyväisiä.

Vuosina 1991-95 rakennetut PAB-koetiet, joiden yhteispituus on noin 230 km, ovat pääosin hyvässä kunnossa. Seurantaohjelmaan niistä valittiin 66 km eli 12 koetietä, joiden vauriot kartoitettiin ja tasaisuudet mitattiin kesäkuussa 1996. Päätelmiä kestoikään vaikuttavista päällysteen ominaisuuksista ei vielä voida tehdä.



**Key words**      soft asphalt pavement, soft bitumen

## **Abstract**

In 1996 about 90 % of soft asphalt mixtures were made by heating the mineral aggregate with steam. The soft asphalt studies carried out in 1996 also focused on the steam heating method. The aim of the study was to find out the correlation between the mixing process and the pavement quality to control the mixing process with different kinds of mineral aggregates in all circumstances. The water resistance of soft asphalt mixtures was feared to be impaired by the impurities that may be produced during combustion when transferred with the steam into the mixture. The MYR method and the flue gas analysis were selected as the research methods.

MYR tests were carried out on nine steam heating mixing plants in the summer of 1996. Flue gas was analyzed on six of these plants. Oxygen, nitrogen and carbon dioxide values were defined from the steam heating the mineral aggregate. However, not even high carbon dioxide values affected the water resistance of the mixture. Good carbon dioxide values which represent pure burning were measured on most plants. Incomplete burning increases the fuel consumption of the flue gas steam generators and their need for maintenance.

Soft asphalt mixtures are also mixed on hot-mixing plants. Based on the observations made in summer 1996, the bitumen viscosity of hot-mixed soft asphalt may be higher than that of an asphalt made in lower temperatures (like steam heating method), which may cause difficulties with mixture workability. However, such difficulties were not reported in 1996, and hot-mixed patching mixes made from V1500 worked well.

The soft asphalt test roads built in 1991-95 are mainly in good condition. The total length of the test roads is about 230 km. 66 km of these were selected to the follow-up programme. Defects and roughness of those 12 test roads were defined in June 1996. Conclusions about the pavement properties which affect the pavement life time can not be drawn yet.

## Alkusanat

Öljysoran korvaavan pehmeän päällysteen kehittäminen aloitettiin vuonna 1992. Pehmeitä bitumeja V1500 ja V3000 on siitä lähtien käytetty PAB-V-päällysteiden sideaineina. Ne eivät sisällä haihtuvia komponentteja ja ovat siten bitumiöljyä ympäristöystävällisempiä. Pehmeä bitumi voidaan emulgoida veteen tai sekoittaa lämmitettyyn kiviainekseen sellaisenaan. Yleensä massa valmistetaan emulgoimattomasta sideaineesta ja kiviaines lämmitetään höyryllä.

Vuoden 1996 PAB-V-tutkimusten tulokset on koottu tähän julkaisuun. *Reijo Onikki* teki diplomityönään tutkimuksen "Höyrykuumennuksen vaikutus pehmeiden päällysteiden vedenkestävyyteen" TKK:n tielaboratoriolle Tielaitoksen Kehittämiskeskuksen tilauksesta. Tämän julkaisun höyrylämmitystutkimusta koskevat osat on kirjoitettu diplomityön pohjalta. Savukaasumittaukset teki *Pekka Krum* Neste Oy:n polttolaboratoriosta. Vauriokartoituksen teki *Katri Eskola*. Tämän julkaisun ovat kirjoittaneet Reijo Onikki ja Katri Eskola. Kaikkia vuosina 1994-96 tehtyjä PAB-V-tutkimuksia on ohjannut työryhmä, jonka kokoonpano vuonna 1996 oli

<i>Clas Nyberg</i>	Neste Oy
<i>Siv Schüller</i>	Neste Oy
<i>Lasse Nurhonen</i>	TIEL/Kaakkois-Suomen tiepiiri
<i>Katri Eskola</i>	TIEL/Kehittämiskeskus
<i>Kalevi Toikkanen</i>	TIEL/Kehittämiskeskus
<i>Kalevi Luiro</i>	TIEL/Lapin piiri
<i>Esko Laitinen</i>	TIEL/Oulun piiri
<i>Raimo Ledentsä</i>	TIEL/Savo-Karjalan piiri
<i>Markku Kleemola</i>	TIEL/Vaasan piiri
<i>Reijo Onikki</i>	TKK/tielaboratorio/ TIEL/KaS-piiri
<i>Jarkko Valtonen</i>	TKK/tielaboratorio
<i>Laura Apilo</i>	VTT/Yhdyskuntatekniikka.

Helsingissä toukokuussa 1997

*Tielaitos*  
*Tie- ja liikennetekniikka*

## Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 HÖYRYLÄMMITYSTUTKIMUS	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Höyrylämmitystekniikka ja käyttökohteet	9
2.3 Kenttätutkimukset	12
2.3.1 MYR-kokeet	12
2.3.2 Savukaasumittaukset	17
2.3.3 Yhteenveto vuoden 1996 PAB-massan valmistuksesta	20
2.4 Laboratoriotutkimukset	22
2.4.1 MYR-koesarjat, lisäaineina noki ja polttoöljy	22
2.4.2 Kiviainesten hienoainestutkimukset	23
2.4.3 MYR-koesarjat eri vesipitoisuuksilla	25
2.5 Tulosten tarkastelu	27
2.5.1 Sekoitustilapöytävaikutuksen vaikutus MYR-arvoihin ja päälysteen laatuun	27
2.5.2 Savukaasujen vaikutus MYR-arvoihin ja päälysteen laatuun	27
2.5.3 Savukaasujen vaikutus aseman käytön ja ympäristön kannalta	27
2.5.4 Kiviainesten hienoaineksen ja vesipitoisuuden vaikutus MYR-arvoihin ja päälysteen laatuun	28
2.5.5 MYR-laboratoriokokeen ja MYR-kenttäkokeen yhteys	28
3 VARASTOMASSAT	29
4 KOETEIDEN VAURIOKARTOITUS	30
4.1 Seurantaohjelma	30
4.2 Tulokset	31
5 PÄÄTELMÄT	35
5.1 MYR-arvot ja massan valmistus	35
5.2 Höyrylämmitysmenetelmä ja savukaasun CO-arvo	36
5.3 Varastomassat	36
5.4 PAB-V-päälysteiden kestoikä	36
5.5 Jatkotutkimukset	37
6 LÄHTEET	38
7 LIITTEET	40



## 1 JOHDANTO

PAB-V-päällysteet ovat yleistyneet Tielaitoksen päällystystöissä nopeasti. Vuonna 1994 rakennettiin 94 km koetiepäällysteitä, joissa sideaineena käytettiin emulgoimattomia pehmeitä bitumeja V1500 ja V3000 niin, että kiviaines lämmitettiin massan valmistuksessa 40-60 asteeseen. Kokeilut on raportoitu Tielaitoksen selvityksiä-sarjassa numerolla 5/95. Onnistuneiden kokeilujen jälkeen tällä tekniikalla tehtiin vuonna 1995 PAB-V-päällysteitä jo 1137 km. Se on Tielaitoksen päällystystöissä noin 70 % siitä määrästä, joka perinteisesti olisi tehty PAB-O:na. Vuonna 1996 vastaava osuus oli jo noin 95 %.

Vuonna 1996 PAB-V-massoja valmistettiin pääosin höyrylämmitystekniikalla. Niitä voidaan tehdä myös asfalttiasemalla tai rummulla varustetulla öljysora-asemalla. Täysin kylmänä PAB-V-massa voidaan sekoittaa vain emulgoidusta sideaineesta. Höyrylämmitystekniikan yleistymisen myötä myös PAB-B-massoja tehdään yhä enemmän turboasemilla. Vuonna 1996 kaikista PAB-massoista noin 80 % valmistettiin höyrylämmitystekniikalla, kun vastaava osuus vuosina 1994-95 oli 50-60 %. PAB-V-massoista noin 90 % valmistettiin höyrylämmitystekniikalla vuonna 1996.

Vuonna 1996 toteutettiin PAB-V-päällysteisiin liittyen muutamia toisiinsa niveltäviä tutkimuksia. Lähtökohtana olivat vuoden 1995 tutkimukset, joista on kerrottu tämän julkaisusarjan numerossa 82/95. Kaakkois-Suomen tiepiiriin rakennettiin silloin koetie, jolla kokeiltiin erilaisia sekoituslämpötiloja ja tartukepitoisuuksia. Koekohteella hämmennystä aiheuttivat totutusta ajattelutavasta poikkeavat MYR-tulokset: kun sekoituslämpötilaa nostettiin, tarttuvuus- eli MYR-arvot huononivat vaikka massan peittoaste parani. Syitä tällaiseen käyttäytymiseen lähdettiin etsimään kiviaineksesta, höyrylämmitystekniikasta sekä näiden yhdistelmästä. Esitettiin seuraavia *olettamuksia*.

**Oletus 1:** Kun kiviaineksen hienoaines on runsaasti vettä sitovaa, sekoituslämpötilaa nostettaessa (höyryn määrän lisääntyessä) massa sitoutuu enemmän vettä. Vesi estää bitumia tarttumasta kiviainekseen kunnolla huonontaen massan vedenkestävyyttä.

**Oletus 2:** Huonon palamisen seurauksena syntyvä noki ja palamaton polttoöljy joutuessaan höyryn mukana kiviainekseen huonontavat massan vedenkestävyyttä.

Kaakkois-Suomen koetiellä (Mataramäen pt, Loukolan koneasema, Pieksämäen mlk) tartukepitoisuudet (ja sekoituslämpötilat) olivat 0,2 % (60 °C) - 0,8 % (30 °C), jolloin vastaavat MYR-arvot olivat 19 - 0,6 g. Päällysteet onnistuivat suurista MYR-arvoista huolimatta, koska päällystysolot olivat suotuisat. /4/

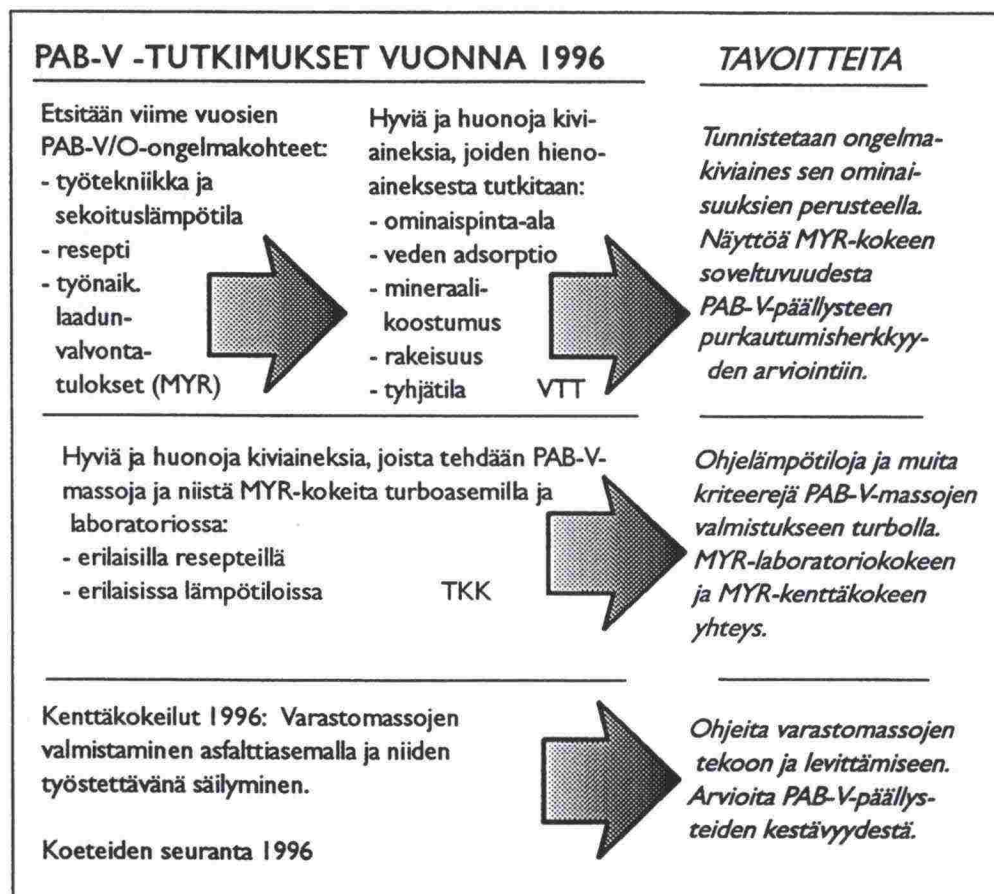
Tutkimuskokonaisuus syntyi tarpeesta selittää toisaalta höyrylämmitystekniikan ja toisaalta kiviainestekijöiden osuutta ongelmatapauksissa. Tavoitteena oli pyrkiä hallitsemaan massanvalmistusprosessi kaikissa olosuhteissa ja erilaisilla kiviaineksilla.

Kiviainestekijöitä lähdettiin selvittämään niiden hienoaineksen ominaisuuksien pohjalta, joiden arveltiin vaikuttavan massan vedenkestävyyteen, koska höyrylämmitystekniikalla massaa valmistettaessa kiviaineksessa on aina vettä mukana. Lähtöaineistoksi kerättiin ongelmallisiksi koettuja

kiviaineksia, joista oli vuosina 1994-95 tehty PAB-V- tai PAB-O-päällysteitä höyrylämmitystekniikalla. Tällaisia kiviaineksia löytyi tutkimuksiin kahdeksan. Mukaan otettiin myös kaksi hyväksi tunnettua kiviainesta. Kiviainesten hienoaineksista tutkittiin VTT:n tie- ja geotekniikan laboratoriossa mm. mineraalikoostumus, ominaispinta-ala, veden adsorptio ja rakeisuus. Tuloksia verrattiin päällystettäessä havaittuihin ongelmiin ja kentältä kerättyihin MYR-arvoihin. Aineistoa ei kuitenkaan ollut riittävästi kattavien johtopäätösten tekoon, joten kiviainestutkimuksia päätettiin jatkaa vuonna 1997, jonka jälkeen vasta tulokset myös vuoden 1996 osalta raportoidaan.

Reijo Onikki on tehnyt TKK:n tielaboratoriolle diplomityön höyrykuumennuksen vaikutuksesta pehmeiden päällysteiden vedenkestävyyteen. Siinä höyrylämmitystutkimus on raportoitu tätä julkaisua yksityiskohtaisemmin. Kaikilla kesällä 1996 Suomessa massaa valmistaneilla höyrylämmitysasemilla käytiin tekemässä MYR-kokeita eri sekoituslämpötiloissa. Kuudella asemalla Neste Oy teki savukaasumittaukset. Sekoituslämpötilojen, savukaasujen ja kiviainesominaisuuksien avulla pyrittiin selittämään MYR-arvoja ja päällysteen laatua. Tutkittujen asemapaikkojen kiviaineksista kolme oli mukana myös VTT:n hienoainestutkimuksissa.

Lisäksi vuonna 1996 selvitettiin PAB-V-varastomassan valmistusta asfalttiasemilla ja kartoitettiin vuosina 1991-95 tehtyjen PAB-koeteiden kuntoa. Kaikkiaan näinä vuosina tehtiin noin 230 km PAB-koeteitä, joista seurantaohjelmaan valittiin 66 km. Höyrylämmitystutkimuksen lisäksi tässä julkaisussa on esitetty näiden selvitysten tulokset.



Kuva 1. Vuoden 1996 PAB-V-päällystetutkimukset.



## 2 HÖYRYLÄMMITYSTUTKIMUS

### 2.1 Yleistä

Höyrylämmityslaitteiston kehittäminen bitumisilla sideaineilla sidottujen tiepäälystemassojen lämmittämistä varten alkoi vuonna 1989. Laitekehitystyötä tekivät alussa Kalottikone Oy ja Polarmatic Ky yhdessä. Kalottikoneella oli kokemusta öljysoran valmistukseen tarvittavan laitteiston kehitystyöstä ja rakentamisesta. Polarmaticilla oli taas kokemusta betonialalla kiviaineksen lämmitykseen käytetyn höyrylämmityslaitteiston kehitystyöstä ja valmistuksesta. Yritysten yhteistyön tuloksena syntyi menetelmä, jossa siilossa oleva kiviaines lämmitetään vesihöyryllä, ns. turbo-menetelmällä. Nykyään molemmat yrittäjät jatkavat itsenäisesti höyrylämmitystekniikan kehitystyötä.

Tielaitoksen urakoissa käytettiin kesällä 1996 Polarmaticin ja Kalottikoneen valmistamia höyrylämmittimiä sekä Polarmaticin aikaisemmin valmistamien höyrylämmittimien modifikaatioita. Urakoissa käytettiin Kalottikoneen ja Vähäsilta Oy:n öljysora-asemia, joihin oli liitetty höyrytekniikka. Kiviainessiiloista oli useita versioita, joissa siilojen lukumäärä vaihteli kahdesta neljään. /11,12/

Pieksämäen maalaiskunnan Loukolan koneasemalta vuonna 1995 saatujen tulosten perusteella katsottiin tarpeelliseksi selvittää syitä, jotka aiheuttivat huonoja MYR-arvoja. Tammikuussa 1996 Polarmatic Oy:ltä saatujen tietojen perusteella selvisi höyrynvalmistusprosessin toimintaperiaate ja kuinka höyry johdetaan kiviainessiiloihin. Tällöin selvisi, että höyry tuotetaan lisäämällä kuumaan savukaasuun vettä. Tämä taas herätti kysymyksiä, voiko epäpuhtauksia joutua kiviainekseen huonon palamisen seurauksena, mitä nämä epäpuhtaudet ovat ja mikä vaikutus niillä on massan vedenkestävyyteen ja ympäristöön. Niinpä päätettiin tutkia epäpuhtauksien vaikutuksia PAB-V-massan vedenkestävyyteen. Mittausmenetelmiksi valittiin MYR-koheet ja savukaasun analysointi. Neste Oy:n polttolaboratorio lupautui tekemään savukaasumittaukset, johon sillä oli valmiudet. /4,12,13/

### 2.2 Höyrylämmitystekniikka ja käyttökohteet

Kiviaineksen lämmityksessä käytettävästä höyrynkehittimestä käytetään seuraavia nimiä: turbo, turbokehitin, savukaasukehitin, kuumakaasukehitin ja palamiskaasuhöyrynkehitin. Tekstissä käytetään enimmäkseen viimeksi mainittua.

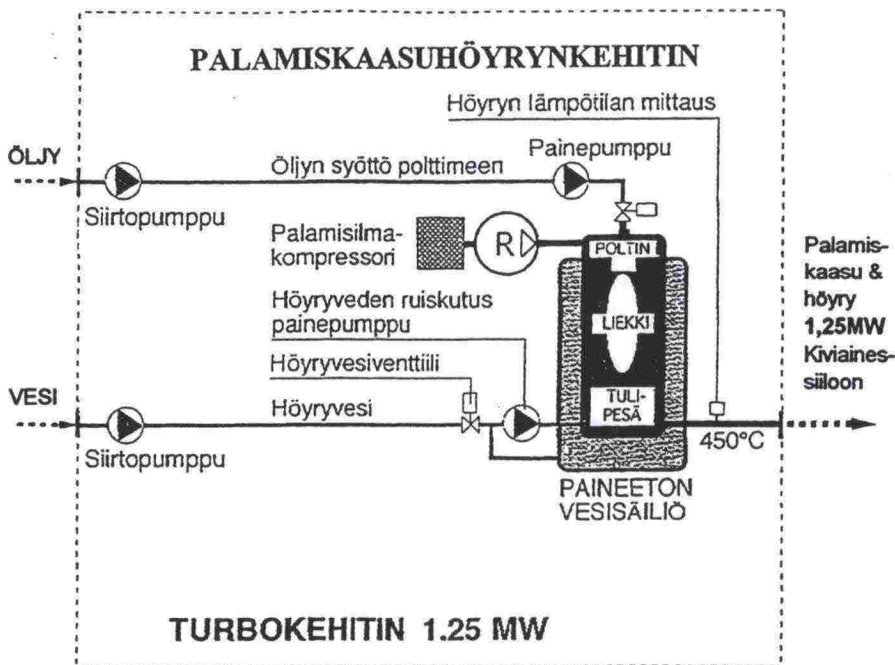
Kiviaineksen lämmitykseen tarvittava höyry tuotetaan yksiköllä, jossa on neljä palamiskaasuhöyrynkehittintä. Niitä voidaan käyttää yksitellen tai yhdessä, jotta saadaan kiviainekselle haluttu lämpötila. Jokaisessa höyrynkehittimessä on sellainen kaksoisvaipparakenne, että tulipesän ja ulkopuolisen kuoren väliin jää tyhjätilaa, jota käytetään hyväksi tulipesän jäähdytysjärjestelmässä. Tulipesän yläpinnalla on öljypoltin ja alapuolella aukko savukaasujen ulosjohtamista varten. Painehajoitteisissa polttimoissa käytetään normaaleja öljypoltinsuuttimia. Eri poltinmalleissa on joko yksi tai kaksi suutinta, ja polttoaineena käytetään kevyttä polttoöljyä. Öljy ohjataan polttimolle polttoainepumpulla, jonka paine on säädettävissä. Polttimon käyttämä öljymäärä vaihtelee palamiskaasuhöyrynkehittimen tehon mukaan (0,75-1,25 MW/kehitin). Järjestelmässä on neljä kompressoria, joista kukin tuottaa sille ominaisen määrän ilmaa. Ilman tarpeen määrää kattilan tuottama teho



(0,75-1,25 MW/kehitin). Tulipesästä lähtevään savukaasuun johdetaan vetä, jolloin muodostuu vesihöyryä. Veden määrä säätelee syntyvän vesihöyryn lämpötilaa. Kuvassa 2 on kaaviopiirros palamiskaasuhöyrynkehittimestä. /11,12/

**Palamiskaasuhöyrynkehitin koostuu siis:**

1. kompressorista, joka tuottaa vakiomäärän ilmaa tietyssä aikayksikössä
2. kattilasta, jossa on tulipesä polttimoineen
3. ulkovaipasta
4. polttoainepumpusta, jolla voidaan ohjata polttoaineen määrää paineen avulla
5. vesipumpusta, jolla säädetään savukaasun jäähdytysveden määrää.
6. Kattiloiden alapuolella on lisäksi suljettu allas, jossa on kiertävä jäähdytysvesi. Jäähdytysvedellä suojataan kattilan alapintaa ja putkistoa liialta kuumenemiselta.
7. Höyrynkehittimeen kuuluu myös höyryputkisto, jolla höyry johdetaan kiviainesiiloihin. Siiloissa höyry jaetaan tasaisesti kiviainekseen. /11,12/



**Kuva 2.** Kaaviopiirros palamiskaasuhöyrynkehittimestä (turbokehitin).

Palamiskaasuhöyrynkehittimessä on kaksoiskuorirakenne, jossa sisempi kuori toimii tulipesänä. Tulipesän kuoren liiallinen kuumeneminen estetään jäähdytyksellä, joka tapahtuu tulipesän ja ulkokuoren välisessä tilassa. Jäähdytysmenetelminä käytetään höyry- ja vesijäähdytystä. Höyryjäähdytyksessä kompressorin tuottama paineellinen ilma ohjataan tarvittavana happena suoraan palotapahtumaan. Ylijäämäilma osallistuu myös liekkirintaman jäähdyttämiseen, jotta välttyttäisiin liiallisen kuumuuden aiheuttamilta haitoilta. Sen jälkeen savukaasu (1400-1600 °C) ohjautuu n. 0,3 baarin paineella tulipesän alapinnassa olevan aukon kautta putkiverkostoon, jossa

siihen ruiskutetaan jäähdytysvettä. Ruiskutettavan veden määrä riippuu keuhittimen tehosta (0,75-1,25 MW). Tämän jälkeen savukaasut ja jäähdytysvesi muuttuvat n. 300-asteiseksi vesihöyryksi, joka ohjataan tulipesän ja ulkokuoren välitilaan käyttäen hyväksi kompressorin tuottamaa ilmanpainetta. Välitilasta vesihöyry ohjataan putkiverkostoon, jota pitkin höyry johdetaan kiviainessiiloihin 0,3-0,5 baarin paineella. Verkoston paine ei saa ylittää lämmitettävän kiviaineksen muodostamaa vastapainetta, sillä siitä seuraisi patjan puhkeaminen ja höyryn pakeneminen syntyneestä reiästä.

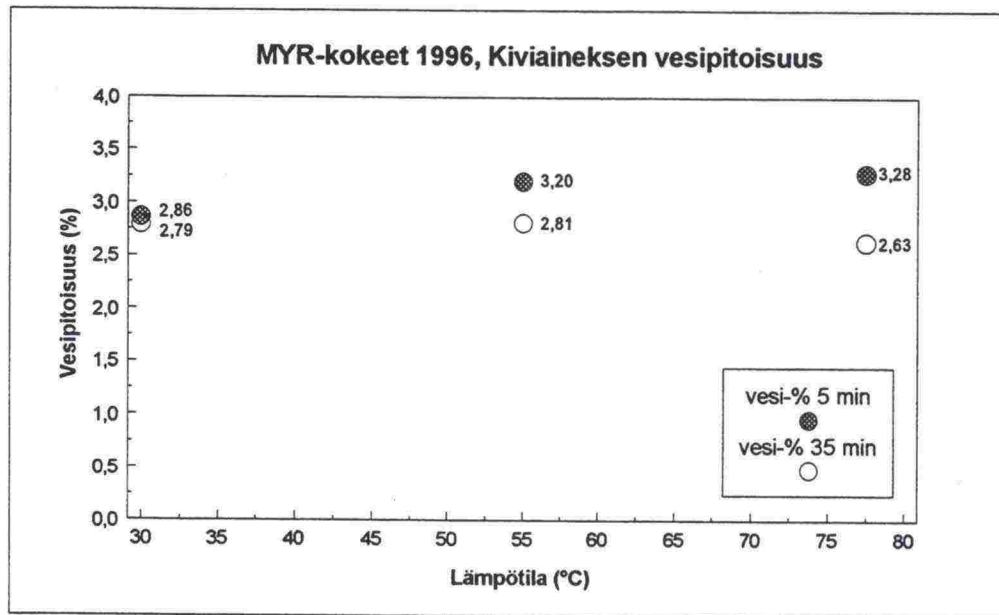
Toisessa jäähdytysmenetelmässä vaippojen välisessä tilassa on vettä, jota käytetään sekä jäähdytykseen että kiviaineksen lämmitykseen syötettävän savukaasun höyrystysvetenä. Vesijäähdytteisen tulipesän merkittävin etu on se, että tulipesä ei pääse koskaan ylikuumenemaan riippumatta siitä, miten kuumaa höyry on. Uusimmalla 1997-vuosimallia olevalla vesijäähdytteisellä palamiskaasuhöyrynkehittimellä höyryn lämpötilaa on voitu laboratorio-olosuhteissa nostaa huomattavasti korkeammalle kuin aikaisemmillä malleilla kenttäoloissa. Höyryn lämpötila voi olla esim. 450-500 °C. Korkean lämpötilan ansiosta höyryveden määrää voidaan näin pudottaa. Lisäksi 450-500-asteinen höyry on niin "kuivaa", että se ei tuo lisäkosteutta kiviainekseen niin paljon kuin aiemmat mallit. On mahdollista, että kiviaineksen kosteus voi jopa laskea jonkin verran lämmityksen aikana. /11,12/

Polarmatic Oy on käyttänyt palamiskaasuhöyrynkehittin-lämmitystekniikkaa betoniteollisuudessa kiviainesten siilolämmitykseen jo vuodesta 1983 aivan vastaavasti kuin sitä käytetään nyt pehmeiden asfalttimassojen kiviaineksen lämmitykseen. Betoniteollisuudessa turbohöyryn käyttö on sallittu myös siilolämmityksessä, koska se ei nosta kiviaineksen vesipitoisuutta palamiskaasupuhalluksen ansiosta. Betoniteollisuudessa perinteisen avohöyryn käyttö siilolämmityksessä on kielletty, koska syötetty höyry tiivistyy jäähtyessään vedeksi kiviaineksen pinnalle ja nostaa kiviaineksen vesipitoisuutta täysin hallitsemattomasti. Avohöyryä saa käyttää betoniteollisuudessa vain vaaka-astiassa tapahtuvassa lämmityksessä, jossa vedeksi tiivistyneen höyryn määrä voidaan punnita ja vähentää ns. annosvedestä. Betonin valmistuksessa kiviaineksen vesipitoisuuden tunteminen on välttämätöntä, koska reseptissä oleva kokonaisvesimäärä sisältää myös kiviaineksen vesipitoisuuden. Jos kiviaineksen vesipitoisuus vaihtelee hallitsemattomasti, betonin notkeutta ja vesisementtisuhdetta ei saada sallittuihin rajoihin, mikä heikentää betonin laatua. Palamiskaasuhöyrynkehittimen yhtenä suurimpana etuna pidetään sitä, että kiviaineksen kosteustasapaino säilyy hyvin. Betoniteollisuudessa kiviaineksen keskikosteutena käytetään laskelmissa yleisesti 3 %:a. /12/

Pehmeiden asfalttimassojen valmistuksessa käytetyt sideaineet vaativat kiviaineksen lämmityksen. Saatujen kokemusten perusteella höyrykuumenusmenetelmä sopii tähän hyvin. Höyrytetyn kiviaineksen vesipitoisuuteen vaikuttavat materiaalin ominaisuuksien lisäksi murskekasan vesipitoisuus ja höyrytetyn kiviaineksen lämpötila. Kallioselässä tutkittiin sekoittimesta otetuista näytteistä höyrytetyn kiviaineksen vesipitoisuutta. Kun näytteen vesipitoisuus tutkittiin viisi minuuttia sen ottamisen jälkeen, niin vesipitoisuus nousi vielä 77 asteessa. Kun vesipitoisuus tutkittiin 35 minuuttia näytteen otton jälkeen, alkoi vesipitoisuus laskea jo 77 asteessa (kuva 3). Erilaisilla höyryn lämpötiloilla samaan lämpötilaan lämmitetyn kiviaineksen vesipitoisuuksia ei tutkittu (tehtaalla tehdyt koeajot osoittivat, että on mahdollista käyttää 450-500 asteista höyryä). Kenttäoloissa on vaikea tehdä



yksiselitteisiä päätelmiä höyrytetyn kiviaineksen vesipitoisuuden ja lämmön välisistä yhteyksistä. Muuttujia ovat varastokasan vesipitoisuuden vaihtelu, höyryn lämpötila, höyrytetyn kiviaineksen lämpötila ja ominaisuudet. Näiden muuttujien mukana oleminen selittää kesän aikana koneasemilta saadut ristiriitaiset tiedot höyryn vaikutuksesta kiviaineksen vesipitoisuuteen. /11,12/



**Kuva 3.** Lämpötilan vaikutus höyrytetyn kiviaineksen vesipitoisuuteen 5 ja 35 minuutin kuluttua sekoituksesta (Kallioselkä).

## 2.3 Kenttätutkimukset

### 2.3.1 MYR-kokeet

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää höyrykuumennustekniikalla lämmitettyjen PAB-V-massojen vedenkestävyys MYR-menetelmää käyttäen (PANK-4304). Suomessa kesällä 1996 palamiskaasuhöyrykehittimillä massaa valmistaneiden yhdeksän urakoitsijan joltakin koneasemapailta tehtiin MYR-koesarja V1500-sideaineella tehdystä PAB-V-massasta. Muutamissa kohteissa tehtiin samanaikaisesti MYR-kokeiden kanssa myös savukaasumittaukset. (Joillakin asemilla käytiin useamminkin, sillä MYR-tutkimusten ohella selvitettiin myös erikseen savukaasuun liittyviä tekijöitä.) MYR-kokeissa perusmittaus tehtiin yleensä siten, että kolmesta eri lämpötila-alueesta tehtiin kolme mittaus. Alun perin mittaukset oli tarkoitus suorittaa aikaisemmin ongelmallisiksi osoittautuneista kohteista. Tämä ei kaikkien kohteiden osalta toteutunut aikataulun muutosten ja muiden yhteensattumien vuoksi. /19/

Taulukossa 1 on lueteltu ne kohteet, joissa mittauksia tehtiin, asemapaikat, ajat, palamiskaasuhöyrykehittimen valmistajat (Polar = Polarmatic Ky:n valmistama, Polar/KM = Kalottikone Oy:n modifikaatio Polarmaticin vanhasta kehittäjästä ja Kalotti/ECO = Kalottikoneen valmistama ECOTURBO™) ja kehittimen teho. Kohteissa tutkittujen massojen ominaistiedot on esitetty tämän luvun lopussa taulukossa 2.



**Taulukko 1. Savukaasu- ja MYR-mittaukset vuonna 1996.**

Asemapaikka	Urakka / massan valmistaja	Aika	Höyrynskehitin
Lövböle	T3/ Interbetoni	04.06.1996	Polar (4-5 MW)
Aurankallio	T3/ Interbetoni	19.06.1996	Polar (4-5 MW)
Honkanen	Lappi/Tiel	19.06.1996	Polar / KM (3 MW)
Haikne	Vaasa/Tiel	27.06.1996	Polar (4 MW)
Honkanen	Lappi/Tiel	02.07.1996	Polar / KM (3 MW)
Kankaala	KaS/Tiel	09.07.1996	Polar / KM (4 MW)
Hirvikallio	SK4/ Oulu/Tiel	10.07.1996	Polar / KM (3 MW)
Pekastinvaara	Kajaani/Tiel	11.07.1996	Polar / KM (3 MW)
Sotkamo	Kajaani/Tiel	25.07.1996	Polar / KM (3 MW)
Tupuri	T3/ Interbetoni	08.08.1996	Polar (4-5 MW)
Laajakumpu	SK4/ Oulu/Tiel	13.08.1996	Polar / KM (3 MW)
Huuhkonvuori	KaS/Tiel	15.08.1996	Polar / KM (4 MW)
Lintumäki	SK4/ Oulu/Tiel	23.08.1996	Polar / KM (3 MW)
Kallioselkä	Ylivieska/Tiel	28.08.1996	Kalotti / ECO (4 MW)
Rippu	H3/ Valtatie	12.09.1996	Polar (4 MW)
Risten	U6/ Sata-asfaltti	13.09.1996	Kalotti / ECO (4 MW)

**4.6.1996 Lövböle, Turun tiepiiri**

Kokeen suorituspäivä oli aurinkoinen, ja lämpötila oli noin 22 °C. Asemalla tehtiin PAB-V 16 -massaa, joka levitettiin Pedersån pt:lle 12082. Massan normaali valmistuslämpötila oli noin 75 °C. Massa oli silmämääräisesti tarkasteltuna homogeenista ja peittoaste oli hyvä, lähes 100 %. Massa tehtiin kalliomurskeesta, johon lisättiin hiekkaa.

MYR-sarja sisälsi seitsemän näytettä massan normaalilta lämpötila-alueelta. Yksi näyte otettiin 42-asteisesta massasta. Matalalämpöistä massaa ei voitu tehdä enempää, koska kolmen tonnin sekoitin ei jaksanut sekoittaa kylmää massaa. Lämpötilojen vaihtelu aiheutti muutenkin ongelmia, sillä kyseisessä kohteessa otettiin käyttöön mikroprosessoripohjainen prosessinohjausjärjestelmä ja järjestelmän säätäminen jatkuvassa massan valmistuksessa vaati vielä hienosäätöä. MYR-kokeiden tulokset olivat hyviä. (Liite 1, s. 1)

**19.6 ja 2.7.1996 Honkanen, Lapin tiepiiri**

19.6.1996 sää oli aurinkoinen, ja lämpötila oli noin 14 °C. Asemalla valmistettiin PAB-V 16 -massaa, sideaineena V3000. Massa tehtiin kasaan myöhemmin kesällä REMO-menetelmällä toteutetun uusiopäällysteen lisämas-saksi. PAB-V-massan raaka-aineena käytetty soramurske oli osin routivaa (pesuseulonta ja hydrometrikoe). Massan tavanomainen valmistuslämpötila oli vähän yli 40 °C. Massassa oli paljon erikokoisia puhtaita kiviä, joiden osuus lisääntyi lämpötilaa laskettaessa. Massassa esiintyi hienoainespaakkuja, joiden määrä lisääntyi matalassa lämpötilassa. Paakut olivat sitoutuneet isompien kivien ympärille. 85- ja 88-asteisten massojen sekoitusaikaa

pidennettiin kahdeksalla sekunnilla. Paakut vähenivät, mutta eivät hävinneet. MYR-kokeita tehtiin kolmelta lämpötila-alueelta, ja näytteitä otettiin kaikkiaan kahdeksan. MYR-tulokset paranivat lämpötilan kasvaessa.

2.7.1996 vallitsi kaunis kesäinen sää ja ilman lämpötila oli 15-19 °C. Asemalla tehtiin massaa samasta murskeesta kuin 19.6. Sideaineena oli nyt V1500. Massan valmistuslämpötila oli noin 55 °C. Massa levitettiin Reutuakaan pt:lle nro 19652. Massan peittoaste oli parempi kuin vastaavan lämpöisessä V3000-bitumista tehdyssä massassa. Peittoaste huononi kuitenkin lämpötilaa laskettaessa. Myös hienoainesta kerääntyi enemmän paakuiksi isompien kivien ympärille alhaisissa lämpötiloissa, mutta paakkuja oli vähemmän kuin V3000-bitumilla. Sekoitusaika oli viisi sekuntia pitempi kuin V3000-massoissa. Sekoitusaika pidettiin samana kaikkien MYR-näytteiden aikana. Normaalia kuumemmat massat saatiin, kun levityspäässä olleen kahden tunnin tauon aikana kiviainesta lämmitettiin kokeeksi kaikilla kattiloilla koko ajan. Kolme kattilaa tuotti noin 300-asteista höyryä ja yksi 100-asteista jonkin vian takia. Kahden tunnin lämmittämisen jälkeen tehdystä massasta otettiin toinen annos kauhakuormaimella sivuun ja siitä otettiin näyte, jonka lämpötila oli 146 °C ja MYR 0,0 g. Massa oli väriltään mustaa ja peittoaste oli 100 %. Silmämääräisesti massa oli homogeenista ja näytti kuivalta (vesipitoisuutta ei mitattu). Tiellä kuumat annokset näkyivät levityksen jälkeen mustina laikkuina osin sekoittuneina muuhun massaun. Noin 30-asteisista massakuormista otetut MYR-arvot olivat aavistuksen heikompia kuin normaalilämpöisessä ja sitä kuumemmassa massassa. Tarttuvuuksien erot olivat pieniä lukuun ottamatta 146-asteista annosta, jonka MYR-arvo oli 0,0 g. (Liite 1, s. 1-2)

#### **27.6.1996 Haikne, Vaasan tiepiiri**

Asemapaikalla valmistettiin kalliomurskeesta PAB-V 16 -massaa, joka levitettiin pt:lle 17413 ja pt:lle 17433 Harström - Smedbacken. Sää oli aurinkoinen ja ilman lämpötila oli noin 21 °C. Massan normaali valmistuslämpötila oli noin 45 °C. Noin 30-asteisessa massassa oli paljon täysin puhtaita erikoisia kiviä ja hienoainepaakkuja. Lämpötilan noustessa hienoainepaakut vähenivät ja massan peittoaste parani. Näytteitä otettiin kaikkiaan yhdeksän. MYR-arvot olivat alhaisella lämmöllä tehdyssä massassa selvästi huonompia kuin normaalilämpöisillä ja sitä lämpimämmillä massoilla. (Liite 1, s. 2)

#### **10.7.1996 Hirvikallio, Savo-Karjalan tiepiiri**

Aamulla sää oli pilvinen ja sumuinen, lämpötila oli noin 23 °C. Yöllä oli sataanut vettä noin 45 mm, ja koska soramurskekasasta oli jäljellä enää reunoja, niin kasa oli hyvin märkä. Asemalla valmistettiin PAB-V 16 -massaa. Aamun ensimmäinen MYR-tulos oli erittäin huono (23,1 g). Kolmessa seuraavassa näytteessä tulokset paranivat, kun massan lämpötila oli alhaisempi, mutta ne olivat edelleen huonoja (8,5 - 11,4 g). Neljässä ensimmäisessä kokeessa sideaineen tartukepitoisuus oli 1,0 %. Niissä käytettiin edellisenä päivänä toimitettua bitumia, joka oli ollut yön yli lämmityksessä. Edellisenä päivänä kuivemmalla säällä tehdyn massan MYR-arvot olivat olleet hyviä. Neljän MYR-kokeen jälkeen tuli uusi sideainekuorma, jossa oli tartuketta 0,8 %.



Uudesta kuormasta otetut viisi näytettä olivat selvästi aamullisia parempia (0,5 - 4,7 g), joskin 20 minuutin tauon aikana massan lämpötila nousi ja tauon jälkeen otetun näytteen MYR-arvo oli näistä viidestä näytteestä heikoin (4,7 g). PAB-V-massaa tehtiin vain aamupäivä, joten aikaa ei ollut laajemman lämpötilaskaalan vaikutusten tutkimiseen. Massat levitettiin Kaakkois-Suomen tiepiirin puolelle mt:lle 453 Tihusniemen ja Varkauden välille. MYR-arvojen kannalta huonot massat, jotka levitettiin tielle Varkauden suunnalta tultaessa oikealle kaistalle, on merkitty maastoon tiemestarin toimesta mahdollisia myöhempiä tarkasteluja varten. Näytteestä, jonka MYR-arvo oli 8,5 g, tutkittiin sideainepitoisuus kokeen jälkeen. Sideainetta oli huuhtoutunut näytteestä testin aikana 0,73 prosenttiyksikköä alkuperäisestä määrästä (3,50 %).

Aamulla ensimmäisten kuormien levityksen jälkeen laatan päällä olevan liikenteen vaikutuksesta tapahtui purkautumista. Se saatiin loppumaan, kun laatta suojattiin hiekoitushiekalla. Myöhemmin kesällä laatan kuivuttua ja tartunnan muodostuttua massa näytti laatan sisältä otetusta näytteestä aivan normaalilta. Myös ruskea väri oli muuttunut mustaksi. (Näytteestä tehty MYR-koe oli 0,0 g. Tieltä otettu näyte ei ole PANK-menetelmän mukainen, mutta suuntaa antava). (Liite 1, s. 3)

#### **11.7.1996 Pekastinvaara, Oulun tiepiiri**

Kokeiden suorituspäivä oli pilvinen ja lämpötila oli noin 16 °C. Päivän aikana esiintyi kuurostateita. PAB-V 18 -massa valmistettiin kalliomurskeesta ja RC-rouheesta suhteessa 65 % / 35 %. Massan normaali valmistuslämpötila oli noin 50 °C. Massa oli homogeenista ja peittoasteeltaan melko hyvää. Tielle levitettäessä sekä normaalilämpöinen että kuumemmat massat olivat väriltään lähes mustia ja laatasta irtosi autolla ajettaessa vain vähän kiviainesta (vähäinen rapina). MYR-kokeita tehtiin eri lämpötila-alueilta kaikkiaan kymmenen. Kun massan lämpötilaa pudotettiin normaalilta alueelta, niin MYR-arvot alkoivat huonontua selvästi. Samalla massan peittoaste huononi. Myös lämpöä lisättäessä MYR-arvot alkoivat hitaasti huonontua, mutta massan peittoaste parani. Laitoksesta ei saatu enää kuumempaa massaa, jotta olisi voitu selvittää MYR-arvoja korkeammissa lämpötiloissa. (Liite 1, s. 3)

#### **8.8.1996 Tupuri, Turun tiepiiri**

Sää oli kaunis ja kesäinen ja lämpötila oli noin 24 °C. Kyseisellä laitoksella käytiin toistamiseen tekemässä MYR-kokeita ja samalla tehtiin savukaasumittaukset. Kalliomurskeesta tehty PAB-V 16 -massa oli jälleen homogeenista ja peittoaste lähenteli 100 %. Massassa ei myöskään esiintynyt hienoainespaakkuja. Massan lämpötila oli noin 65 °C. Asemalta otettiin vain neljä MYR-koetta. Kuten aiemmin kesällä, oli myös nyt vaikeuksia massan tekemisessä alhaisilla lämmöillä. Asemalla tehtiin kolmen tonnin annoksia, ja noin 40 asteessa sekoitus alkoi vaikeutua. Näytteen MYR-arvo oli kuitenkin vähän huonompi kuin normaalilla lämmöllä, jossa arvot lähestyivät nollaa. Koska 30-asteista massaa ei voitu tehdä, ei saatu selville, lähteekö MYR-arvo nopeasti huononemaan. (Liite 1, s. 4)



**13.8.1996 Laajakumpu, Savo-Karjalan tiepiiri**

Helteisen sään vallitessa asemalla valmistettiin soramurskeesta noin 45-asteista PAB-V 16 -massaa. Se levitettiin mt:lle 5603. MYR-kokeita tehtiin kolmen sarjoissa kolmelta lämpötila-alueelta. MYR-arvot huononivat, kun lämpöä lisättiin tai laskettiin normaalilta alueelta. Massan peittoaste oli kuumimmilla massoilla melko hyvä. Alle 40-asteisten massojen peittoaste oli selvästi huonompi. (Liite 1, s. 4)

**15.8 1996 Huuhkonvuori, Kaakkois-Suomen tiepiiri**

Päivä oli helteinen, ja kuivissa oloissa voitiin valmistaa soramurskeesta PAB-V 16 -massaa. Massa, jonka lämpötila oli noin 50 °C, levitettiin mt:lle 468 Karhilantaival - Kurenlahti. Noin 30-asteinen massa levitettiin plv. 2900 - 3009 oikealle kaistalle ja noin 60 asteinen massa levitettiin plv. 2004 - 2170. MYR-arvot kolmelta lämpötila-alueelta olivat hyviä. Yhdeksästä näytteestä yksi oli 0,1 g ja loput kahdeksan olivat nolliä. Matalissa lämpötiloissa esiintyi lievää hienoainesten paakkuuntumista. (Liite 1, s. 5)

**28.8.1996 Kallioselkä, Oulun tiepiiri**

PAB-V 18 -massaa tehtiin soramurskeesta pilvipoutaisessa säässä. Lämpötila oli noin 20 °C. Massan lämpötila oli noin 55 °C, ja massa levitettiin mt:lle 821 Pihkala - Kestilä. Valitulla reseptillä tehty massa oli erittäin hyvännäköistä, homogeenista ja kuohkeaa. Peittoaste oli lähes 100 %. Massa näytti silmämääräisesti tarkasteltuna helposti leviävältä. Massan homogeenisuus säilyi myös melko hyvin muilla lämpötila-alueilla. Noin 30-asteisen massan peittoaste oli selvästi huonompi kuin normaalilämpöisen massan. Nimenomaan isot raekoot olivat paljaita. Massa oli tielle levitettynä mustaa ja sitoutunutta, eikä kiviä irronnut autolla ajettaessa juuri ollenkaan. MYR-kokeita tehtiin kolmen sarjoissa kolmelta lämpötila-alueelta. Kyseisestä soramurskeesta tehty massa oli tielle levitettynä kesän parhaimpia peittoasteeltaan, homogeenisuudeltaan ja MYR-tuloksiltaan. Kaikki tulokset olivat 0 g. (Liite 1, s. 5)

**12.9.1996 Rippu, Hämeen tiepiiri**

Aamulla sää oli kirkas ja lämpötila oli lähellä nollaa, josta se päivän aikana nousi noin 13 asteeseen. Asemalla tehty PAB-V 16 -massa levitettiin mt:lle 2843. Massan normaali lämpötila oli noin 62 °C. Massa tehtiin neljästä kalliomurskelajitteesta. Syöttöjärjestys oli 10-18 mm, 0-4 mm, 4-10 mm ja 0-2 mm, jota ei lämmitetty. Syöttöjärjestys oli onnistunut eikä hienoainespakkuja syntynyt. Lämpöisten massojen peittoaste lähenteli sataa. Noin 40-asteisen massan peittoaste oli vähän huonompi. Peittoasteen huononeminen tapahtui tasaisesti lähes kaikissa lajitteissa, eikä täysin puhtaita kiviä esiintynyt kuten soramurskeissa. Tätä kylmempiä massoja ei tehty. MYR-arvot olivat kaikilla lämpötila-alueilla pieniä ja kuumilla massoilla päästiin nollaan. (Liite 1, s. 6)

**13.9.1996 Risten, Uudenmaan tiepiiri**

Ristenissä tehtiin PAB-V 16 -massaa kahdesta kalliomurskelajitteesta, 0-6 mm (45 %) ja 6-16 mm (55 %). Massa valmistettiin syöttämällä hienompi lajite sekoittimeen ennen karkeaa lajitetta. Massan normaali valmistuslämpötila oli noin 52 °C, ja massa levitettiin pt:lle 11039. Normaali reseptillä tehdyssä massassa karkeiden kivien peittoaste oli vaillinaista. Myös hienoainespaakkuja esiintyi jonkin verran. Molempien osalta tilanne parani lämmön noustua ja huononi matalissa massan lämmöissä. MYR-tulokset olivat lämpimillä massoilla 0,0 g, mutta kun lämpötila laskettiin lähelle 40 °C, MYR-arvot alkoivat huonontua. Kylmempiä massoja ei voitu tehdä turbotekniikalla siilorakenteiden takia, koska muuten olisi täytynyt sammuttaa kaikki polttimot. (Liite1, s. 6)

**Taulukko 2. MYR-mittauskohteiden massan ominaistietoja.**

ASEMA	Massa (murske)	Valmistus lämpö °C	Sideaine %		Tartuke%	Vesipitoisuus%		Läpäisy-%	
			V1500	V3000		Massa	Kasa	# 0,074	# 0,5
Lövböle	PAB-V 16 (KaM+SrM)	71-79	3,40		1,0	3,1		5,9	18,2
Honkanen	PAB-V 16 (SrM)	40-46		3,60	0,8	2,1-2,3	2,7	7,4-8,2	14,9-16,1
Haikne	PAB-V 16 (KaM)	43-47	3,50		0,6	2,2-2,5		5,8-5,9	16,7-16,9
Honkanen	PAB-V 16 (SrM)	53-56	3,60		0,8	2,3	2,2	6,5-7,3	15,2-17,2
Hirvikallio	PAB-V 16 (SrM)	58-63	3,50		1,0/0,8	5,4	4,7-5,0	5,9	14,4
Pekastinvaara	PAB-V 18 (KaM+RC)	49-57	2,47		0,8	2,5-2,9		6,1-6,2	14,0-14,2
Tupuri	PAB-V 16 (KaM)	62-68	3,40		1,0	2,1-2,8		4,4-4,8	16,1-18,3
Laajakumpu	PAB-V 16 (SrM)	43-51	3,50		0,6	2,7	2,5	5,9-6,3	19,5-20,0
Huuhkonvuori	PAB-V 16 (SrM)	49-52	3,40		0,6	2,6-2,8	3,4	5,4-5,5	19,0-19,8
Kallioselkä	PAB-V 18 (SrM)	54-57	3,25		0,6	2,3	2,3-3,0	3,2	16,8
Rippu	PAB-V 16 (KaM)	59-64	3,50		1,0	2,5		7,3-7,8	21,2-22,0
Risten	PAB-V 16 (KaM)	50-54	3,40		0,7	0,9-1,0		5,2-6,6	14,1-16,8

**2.3.2 Savukaasumittaukset**

Nesteen polttolaboratorio valittiin yhteistyökumppaniksi mittaamaan savukaasuja. Sillä oli sopiva kalusto, ts. PPM 900 -sarjan kannettava savukaasuanalysaattori kenttäoloissa suoritettavaan mittaukseen. Mittari oheislaitteineen on kevyt ja pienikokoinen ja yhden miehen siirrettävissä.

Analysaattorin oheislaitteet koostuvat mittaussondista, näytelinjasta, jäähdytysastiasta ja silikageeliä sisältävästä kuivatusastiasta. Analysaattori koostuu kemiallisista mittauskennoista ja mikroprosessorista. Laite on rakennettu kestävään alumiinisalkkuun ja on tarkoitettu lyhytaikaisia mittauksia varten. Se sopii hyvin käytettäväksi kenttäoloissa. Ennen mittauksen aloitusta laitteen prosessori suorittaa itsetarkastuksen, jonka jälkeen seuraa asetetun ajan pituinen lämmitysjakso. Sen jälkeen laitteen kalvopumppu imee laitteen sisältä nollauskaasun, jota käytetään apuna kalibroinnissa.

Kalibroinnin jälkeen sondi asetettiin höyryhuoneen ulkopuolelle putkeen porattuun 8 mm:n reikään (reikään voi hitsata 8 mm:n mutterin ja varustaa sen ruuvilla, jolloin se mahdollistaa myöhemmät mittaukset). Käytännössä työskentelyn onnistumisen kannalta höyryhuoneen ja siilon välissä oleviin putkiin oli paras tehdä reiät mittauksia varten. Näin voitiin eliminoida höyryhuoneen kuumuus ja melu, mikä ei olisi ollut mahdollista, jos mittaukset olisi tehty sisällä. Mittaus voidaan tehdä siilon ja höyryhuoneen väliltä parhaaksi katsotusta kohdasta, koska jokaisesta kattilasta lähtee oma suljettu putki



siilolle ja putkessa vallitsee vakiopaine aina hiekkasiiloon asti. Näin jokainen höyryputki edustaa omaa kattilaa ja poltinta. Mittauksen aikana laitteen kalvopumppu imee kosteaa savukaasua höyryputkesta jäähdytysastian kautta kuivatusastiaan. Kuivatuksen jälkeen savukaasu johdetaan teflonkalvosuodattimen läpi mittauskennoihin, jotka mittaavat savukaasusta kuiva-arvoja. Mittauskennoja on kolme: CO-, NO- ja O<sub>2</sub>-mittauskenno (hiilimonoksidi eli häkä, typpi ja happi). /13,15/

Asemalla mitattiin jokaisen kattilan kehittämät savukaasut. Yhden kattilan mittaus kesti 15-24 minuuttia ja sisälsi 5-8 lukemakirjausta noin kolmen minuutin välein. Kyseinen aika oli riittävä. Tänä aikana mittauksesta saadut arvot kertoivat palamisen normaalin vaihtelun. Mittaustuloksina saatiin poltinkohtaisesti O<sub>2</sub>-lukema, joka ilmoitti palamisen jälkeisen happiylijäämän prosentteina. CO-arvosta ilmenee häkäkaasun määrä (ppm) miljoonasosina. Häkää esiintyy öljypolton savukaasussa liian alhaisen ilmaylimäärän seurauksena, jolloin CO:n lisäksi savukaasuissa esiintyy erilaisia hiilivetyjä ja palamatonta kiintoainesta, ts. nokea ja öljykoksia. Myös matala tulipesälämpötila yhdessä vaillinaisen sekoittumisen kanssa voi johtaa pienkattiloissa CO:n esiintymiseen. Kevyellä polttoöljyllä palamisen ollessa hyvää on CO-pitoisuus alle 13 mg/MJ (30 ppm) /2/. CO-pitoisuudelle on olemassa myös EN 267 -standardin mukainen raja-arvo 125 mg/kWh (112 ppm). Kesän aikana pienin poltinkohtainen CO-arvo oli 0 ppm, kun suurin taas oli 964 ppm. Myös alkukesästä tehtyjen nokitestien tulokset (arvo 9 arvoasteikolla 0-9) antavat viitteitä huonosta palamisesta. Nokitestit lopetettiin, koska kostea savukaasu rikkoi testipaperin lähes jokaisella mittauksella. Tämä taas aiheuttaa noen huuhtoutumisen ja tulos on virheellinen. /2,13/

Huonon palamisen vuoksi syntyvän CO:n haitta ympäristölle ei ole merkittävä. Kysymys on pienistä määristä ja häkä on vain suurina pitoisuuksina hengenvaarallinen. Hiilivetypäästöt ovat haitallisempia esiintyessään yhdessä hiilimonoksidin ja kiintoaineen kanssa. Syynä hiilivetypäästöihin on huonosta sekoittumisesta johtuva paikallinen happivajaus. Myös tulipesän matala lämpötila ja lyhyen viiveajan yhteisvaikutus lisäävät hiilivetypäästöjä. Hiilivety ja typen oksidit synnyttävät auringonvalossa myrkyllistä otsonia ja muita valokemiallisia hapettimia (ei Suomessa). Typen oksidia syntyy myös palamisen yhteydessä kolmella eri tavalla.

1. Terminen typpioksidi, kun ilman typpi reagoi palamisilman hapen kanssa korkeassa lämpötilassa typpimonoksidiksi.
2. Prompt eli nopea typpioksidi, kun hiilivetyradikaaleja runsaasti sisältävässä liekinosassa ilman typpi reagoi ilman hapen kanssa typpimonoksidiksi.
3. Polttoainemekanismista, kun polttoaineen orgaaniset typpiyhdisteet reagoivat hajotessaan liekkikentässä osittain hapen kanssa typpimonoksidiksi.

Poltossa syntyy pääasiassa typpimonoksidia (NO). Typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) määrä on vähäistä. Terminen typpioksidi lisääntyy nopeasti, kun tulipesän lämpötila kasvaa 1400 asteesta ylöspäin. Kaksi muuta typen oksidin muodostajaa reagoi myös lämpötilan kasvuun, mutta eivät niin nopeasti kuin terminen typpioksidi. /2,5,13/

Kevyt polttoöljy koostuu haihtuvista komponenteista, ja palaminen tapahtuu nopeasti. Polttimella tulee aikaansaada stabiili, tehokkaasti palava liekki, joka mahtuu käytettävissä olevaan tulipesään. Polttolaitteen ja tulipesän



hyvällä yhteensovituksella saadaan aikaan paras palamistulos. Käytännössä tähän vaikutetaan pesän koolla ja muodolla. Tulipesän kokoa voidaan karakterisoida ns. tulipesärasituksella eli tulipesän tilavuusrasituksella ( $\text{kW/m}^3$  tai  $\text{MW/m}^3$ ), joka saadaan jakamalla polttoaineteho pesän tilavuudella. Suure kuvaa savukaasujen viiveaikaa tulipesässä. Tulipesärasitusta voidaan käyttää samanlaisten (-muotoisten) tulipesien vertailuun. Mitä pienempi tilavuusrasitus on, sitä suurempi on palamiseen käytettävissä oleva aika ja sitä vähemmän syntyy poltossa palamatonta kiintoainesta. Palamatoman koksen määrää vähennettäessä viiveajan merkitys korostuu.

Hyvän palamisen kannalta on tärkeää hyvä polttoaineen sumutus sekä polttoainepisaroiden ja palamisilman sekoittuminen. Sumutus on parempaa, jos pisarakoko on pieni. Näin täydelliseen palamiseen tarvittava aika pienenee. Hyvin pienillä pisaroilla ei kuitenkaan ole tarpeeksi liike-energiaa tunkeutukseen riittävän kauaksi palamisilmavirtaan, mikä asettaa myös rajoituksia. Kevyttä polttoöljyä poltettaessa noen muodostuksen ja pisarakoon yhteys on huonosti tunnettu. Nokimäärä kasvaa pisarakoon kasvaessa. Noen muodostusta voidaan kuitenkin vähentää esimerkiksi ns. siniliikkiteknikalla kierättämällä liekissä kuumia savukaasuja, jolloin haihtuminen, pyrolyysi ja sekoittuminen paranevat sekä lämpötilakenttä liekissä tasoittuu. Palamiseen vaikuttavat sumutuksen pisarakoko, öljyn haihtuminen/hajoaminen liekin alkuvaiheessa (pyrolyysi) sekä ilman ja polttoaineen sekoittuminen. Kevyttä polttoöljyä poltettaessa öljyn haihtumisnopeus riippuu tulipesän lämpötilasta, öljyn pisarakoosta ja öljyn tislausalueesta. Haihtumisnopeus ratkaisee palamistehokkuuden yhdessä palamistapahtuman kanssa. Palamisessa on kyse laitteiden ja öljyn muodostamasta kokonaisuudesta.

Talvella 1996 tehty oletamus, että huonon palamisen seurauksena höyryn mukana pääsee kiviainekseen nokea ja palamatonta polttoöljyä ei öljyn osalta pitänytkaan paikkaansa, sillä palotapahtumasta jostain syystä karanneet öljypisarot muuttuvat kuumuudessa nokikoksiksi, eivätkä säilytä nestemäistä olotilaansa. /2,13/

Kesän aikana tehtiin savukaasumittaukset kuudella asemalla. Niistä kahdessa tehtiin tarkastusmittauksia myöhemmin kesällä. Mittauskohteina olivat Polarmaticin kaksi turboa Interbetoni (4-5 MW) ja Valtatie (4 MW), Kalottikoneen yksi ECOTURBO™ Sata-asfaltti (4MW) ja kolme Polarmaticin vanhaa turboa, jotka Kalottikone oli modifioinut, ts. KaS (4MW), SK4 / Oulu (3MW) ja Kajaani (3MW). Mittaustulokset on esitetty liitteessä 2. /13/

Mittaustulosten perusteella voitiin havaita polttoaineen määrän vaikuttavan suoraan happiylijäämään ja sitä kautta CO-arvoihin. Sillä on vaikutusta myös  $\text{NO}_x$ -arvoihin, joiden määrä pienenee tulipesälämpötilan laskiessa. Asemalla, jolla oli suuret CO-arvot, myös nokitesti osoitti puutteita palamisessa, mikä taas tukee huonon palamisen teoriaa.

Vaikka huonon palamisen ja massan vedenkestävyyden välillä ei ollut havaittavissa suoraa yhteyttä, niin siitä seuraa muita ongelmia aseman käytön kannalta. Huonon palamisen takia tulipesä nokeentuu ja puhdistustarve lisääntyy. Kattilan epäpuhtaus taas heikentää ulkopuolisen jäähdytyksen täydellistä toimintaa ja saattaa johtaa tulipesän ennen aikaiseen rikkoutumiseen. Liian suurilla polttoöljyn syöttömäärillä tulipesän lämpötila nousee, mikä ilmenee kasvavina  $\text{NO}_x$ -arvoina. Tämän vuoksi myös jäähdytykseltä vaaditaan suurempaa kapasiteettia. Polttoaineen syötön lisäys pienentää happiylijäämää, ja kun ilmaa ei voi järjestelmässä lisätä, niin siitä seuraa

palamisen tarvitseman hapen puute ja palaminen jää vajaaksi. Lisäksi huonon palamisen seurauksena polton hyötysuhde alenee ja polttoaineen kuluus lisääntyy. Tämä lisää myös polton päästöjä, mm. hiilimonoksidia ja hiilivetyjä. Palamisessa syntyvän hiilidioksidin kokonaismäärät ovat esim. fossiilisia polttoaineita käyttävän teollisuuden hiilidioksidipäästöihin verrattuna mitättömiä. Liikenteen tuottamiin  $\text{NO}_x$ - ja hiilivetypäästöihin verrattaessa on kyse lähinnä teoreettisista päästöistä. /5,13/

### 2.3.3 Yhteenveto vuoden 1996 PAB-massan valmistuksesta

Kesän 1996 urakoissa valmistettiin höyrykuumennusmenetelmällä PAB-V-massoja noin 530 000 t ja PAB-O-massoja noin 14 000 t. Vanhan öljysoran valmistuksen alasajo on siis edennyt suunnitelmien mukaisesti. Vuoden 1996 PAB-O:n valmistuksessa tavoitteeksi oli asetettu 5 % tai vähemmän /4/, mikä toteutui. PAB-O:n osuus turboasemilla valmistetuista PAB-V/O-massoista oli 2,5 % (taulukko 3). Kesän 1996 kaikista PAB-V/O-massoista laskettuna PAB-O:n osuus oli noin 5 %.

**Taulukko 3. "Turbolla" valmistetut PAB-massat kesällä 1996 sideaineittain.**

URAKKA / URAKOITSIJA:	"Turbo"-menetelmällä v. 1996 tehdyt PAB-massat sideaineittain (tonnia). Emulgoidut massat eivät ole mukana.				
	PAB-V V1500	PAB-V V3000	PAB-B B650/900	PAB-O BÖ2	Yht. (t)
<b>Tielaitos:</b>					
Kajaani	18 565	0	6 003	5 583	30 151
KaS	38 561	0	70 034	216	108 811
Lappi	18 537	43 378	0	0	61 915
SK4 / Oulu	15 518	16 410	11 405	2 400	30 215
Vaasa	153 412	5 588	3 788	0	162 788
Ylivieska	90 607	0	2 617	0	93 224
<b>Yksityiset:</b>					
H3 / Valtatie	25 054	0	25 798	5 523	56 375
KeS4 / Valtatie	16 364	0	7 572	0	23 936
T3 / Interbetoni	67 939	0	0	0	67 939
U6 / Sata-asfaltti	35 000	0	7 000	0	42 000
<b>Yhteensä</b>	<b>464 039</b>	<b>65 376</b>	<b>134 217</b>	<b>13 722</b>	<b>677 354</b>

PAB-V- ja PAB-O- massojen suhteellinen osuus		
	Määrä (t)	Toteutunut (%)
PAB-V	529 415	97,5
PAB-O	13 722	2,5
<b>Yht</b>	<b>543 137</b>	<b>100,0</b>

Kesän 1996 urakoissa oli käytössä kahden valmistajan useita eri turbovirtelmiä, joiden nimellistehot vaihtelivat kolmesta viiteen MW:iin. Urakoissa käytettiin kahden valmistajan öljysora-asemia, joihin turbotekniikka oli liitetty. Kiviainessiiilot olivat kaksi-, kolme- tai neljäosaisia ja niiden sisälle oli rakennettu höyryputkijärjestelmä. Höyryputkijärjestelmän sijainti siilossa vaihteli siilotyyppittäin. Höyryputkien sijoitus siiloon siten, että höyrystä saadaan



optimaalinen hyöty, on vaikea haaste valmistajien tuotekehittelylle jatkossakin.

Lämpötilojen nostaminen yli 60 asteeseen aiheutti monilla asemilla suuria ongelmia kesällä 1996. Myös aseman massanvalmistustehot putosivat joulun aikoina asemilla 60 asteessa n. 180 tonnista 100 tonniin tunnissa. Myös tulipesien kestävyys vaihteli melkoisesti. Vaasan tiepiirin asema valmisti noin 163 000 tonnia massaa, eikä kesän aikana hajonnut yhtään tulipesää. Interbetoni teki massaa noin 68 000 t, ja kaksi tulipesää vaati korjaustoimenpiteitä kesän aikana. Oulun tiepiirin Kajaanin asemalla tehtiin ilman emulsiota 30 000 t massaa ja emulsiomassaa noin 20 000 t. Kajaanin asemalla jouduttiin vaihtamaan kesän aikana kaksi tulipesää. Niiden vaurioituminen aiheutui siitä, kun öljyn syöttöpaine polttimoille oli liian suuri /11/. Lisäksi siellä oli alkukesästä ongelmia altaan jäähdytysveden lämpötilojen kanssa, mutta ongelma saatiin prosessin säädöillä poistettua. Palamiskaasuhöyrynekehittimen kehitystyötä tehdään koko ajan, jotta tulipesät kestäisivät paremmin pitkää, yhtäjaksoista massanvalmistusta myös suuremmilla höyrylämpötiloilla. Kattilatehoja lisättäessä tulee kiinnittää huomiota myös puhtaaseen palamiseen käytännön oloissa. Myös puhtaan palamisen tarvitsema riittävä ilmamäärä on pystyttävä tuottamaan. Tähän vaikuttaa yhtenä tekijänä kompressorin koko ja sen moitteeton toiminta, joka taataan jatkuvilla huoltotoimenpiteillä. Huollot olisi voitava suorittaa vaivattomasti. Tähän voidaan vaikuttaa esimerkiksi kompressorin sijoituspaikan valinnalla. /11,12,13/

Kesä 1996 osoitti, että palamistapahtumaa pystytään seuraamaan tehokkaasti PPM 900 -sarjan savukaasuanalysointilaitteella. Mittausten tuloksista selviää palamisen puhtaus. Nesteen polttolaboratoriolla on myös tulevana vuosina valmiuksia jatkaa mittaustoimintaa. /13/

Kesän urakoissa tehtiin noin 135 000 t PAB-B -massaa, jonka sideaineena oli bitumi B650/900 (taulukko 3). PAB-B -massan levityksessä oli menneenä kesänä monissa urakoissa ongelmia, kun taas joissakin urakoissa massan levitys onnistui hyvin. Kaakkois-Suomen tiepiirin asemalla tehtiin kyseistä massaa n. 70 000 t. Massoja tehtiin sekä kalliomurskeesta että soramurskeesta, ja viimeinen levitys tapahtui lokakuun loppupuolella. Vuoden 1996 urakassa ei koettu massan levitystä ongelmalliseksi. Kaakkois-Suomen tiepiiri oli hankkinut isomman levittimen, jonka paino on 16 t ja perän paino 3,5 t. Massan valmistuslämpötila oli n. 65 °C. Toisaalta Sata-asfaltin U6-urakassa saman lämpöisen PAB-B -massan levitys tuotti vaikeuksia. Levityksen yhteydessä levittimen perä repi ja massa tarttui perään kiinni, minkä vuoksi levitystehot piti pudottaa n. 180 tonnista 100 tonniin/tunti. Levitin oli 16,5 t:n Dynapac, jossa oli tärytamperiperä. Urakassa kokeiltiin myös toista vastaavankokoista levitintä, mutta ongelmat eivät poistuneet. Kyseinen massa, n. 7 000 t, tehtiin Rähissä. Käveltäessä laatan päällä levityksen jälkeen massa tarttui kengänpohjiin. Myös auton renkaisiin tarttui massaa, kun auto seisoj edellisenä päivänä tehdyn laatan päällä.

PAB-V 1500 -massat eivät aiheuttaneet ongelmia kesän urakoissa Hirvikallion asemapaikan yhtä aamupäivää lukuun ottamatta. Sen sijaan ongelmia tarttuvuuden kanssa oli Valtatien urakan muutamissa PAB-B-kohteissa ja Oulun tiepiirin urakoimassa Hirvikalliossa (PAB-B/V). Näissä kohteissa ongelmat syntyivät, kun käytettiin edellisenä päivänä toimitettua sideaine-

erää, jossa tartuke oli menettänyt tehoaan yön yli kestäneen lämpösäilytyksen aikana.

Bitumista V3000 tehtiin massaa enimmäkseen Pohjois-Suomessa. Lapin tiepiirissä Honkasen koneasemalla tehtiin kyseistä massaa varastoon, josta se myöhemmin kesällä käytettiin öljysoraremixerin lisämassana. Levitys onnistui lähtösaumojen epätasaisuuksia lukuun ottamatta melko hyvin. Koneasemalla oltiin kuitenkin sitä mieltä, että V3000-massat tulisi käyttää lämpöisinä suoraan sekoittimelta, myös remixerillä levitettäessä.

Lapin tiepiirissä levitettiin kesällä 1996 kahdesta varastokasasta vuoden vanhaa massaa. Kasat oli tehty samasta kiviaineksesta. Niissä oli käytetty sideaineena V1500- ja V3000-bitumia. Ensiksi mainittu oli helppo levittää ja jälki oli tasainen. V3000-bitumista tehty massa oli taas vaikea levittää ja jälki oli huonoa. Lapin tiepiiristä toivottiin, että V1500-bitumista voitaisiin tehdä isompi varastokasa. Näin voitaisiin testata levitettävyyttä useamman vuoden aikana.

Lapin tiepiirissä on hyviä kokemuksia myös V1500-bitumista tehdystä paikkausmassasta (0-10 mm). Se on pysynyt keväällä myös märissä paikkauskohteissa.

Kaiken kaikkiaan turbo-massojen valmistus on onnistunut hyvin. Jäykemistä bitumeista massaa tehtäessä on kiviaineksen lämpötilaa voitava nostaa nykyisestä (noin 60 °C) ilman merkittävää tehon alennusta massan tuotannossa.

## 2.4 Laboratoriotutkimukset

### 2.4.1 MYR-koesarjat, lisäaineina noki ja polttoöljy

#### *Kokeen tarkoitus*

Keväällä 1996 tehtiin MYR-koesarjoja, joissa oli muuttujina noki ja kevyt polttoöljy. Kokeen tarkoituksena oli selvittää huonon palamisen seurauksena syntyvän noen ja palamattoman polttoöljyn vaikutus valmiin massan tarttuvuusarvoihin, jos höyryn mukana siirtyy epäpuhtauksia kiviainekseen.

171

#### *Kokeen suoritus*

Kiviaineksena käytettiin Pyhtään kalliomurskettä (Yläne), joka kuivattiin ja josta suhteutettiin PAB-V 16 -massanäytteitä varten yhden kilon suuruisia kivinäyte-eriä (taulukko 4).

**Taulukko 4.** Läpäisyprosenttien valinta ohjeseuloilla.

Ohjeseula (mm)	Läpäisy (%)
0,074	5
0,5	16
2	32
8	64



Sideaineena käytettiin V1500-bitumia ja bitumipitoisuutena oli 3,40%. Tartukkeen määrä oli 0,4% sideaineen määrästä. Vesipitoisuus oli neljässä ensimmäisessä sarjassa 2,0% ja viimeisessä sarjassa 5,50%. Kiviaineksen lämpötila oli 60 °C.

Ensiksi tehtiin yksi puhdas sarja ilman lisäaineita. Lisäksi tehtiin sarjoja, joihin lisättiin nokea ja kevyttä polttoöljyä sekä näiden yhdistelmiä. Yhden kilon näytteet tehtiin sähkösekoittimella, jota ohjattiin käsin. Ensin lisättiin lisäaineet, sitten vesi ja lopuksi vaa'alla sideaine tartukkeineen. Sekoitusaika oli 120 sekuntia.

Viiden koesarjan perusteella voitiin todeta kiviaineksessa olevan noen ja polttoöljyn heikentävän tarttuvuusarvoa (taulukko 5). Haitalliset vaikutukset korostuvat, kun lisäaineet vaikuttavat yhdessä ja kun niiden määriä sekä vesipitoisuutta lisätään. Kokeissa ei tutkittu sitä, vaikuttaako pelkkä vesipitoisuuden lisäys yksinään tarttuvuuteen. //

**Taulukko 5.** Noen ja polttoöljyn vaikutus tarttuvuuteen PAB-V-massassa.

<b>Menetelmä:</b> Tarttuvuusarvo MYR-menetelmällä <b>Paikka:</b> Teknillinen korkeakoulu / Tielaboratorio <b>Massa:</b> PAB-V 16 (SrM) <b>Bitumi:</b> V 1500 / 3,4% <b>Tartuke:</b> Diamini / 0,4 % (sideaineen määrästä) <b>Lisäaineet:</b> Noki ja kevyt polttoöljy						
Massanäytteen nro/lämpö/vesi-%	Lisäaine (g / %)		Pussin paino (g)		Tarttu- vuus arvo (g)	Tarttuvuus
	Noki	Polttoöljy	Kokeen jälkeen	Ennen koetta		
<b>Koe I</b>						
1 / 60 / 2,5	0,0	0,0	3,6	2,8	0,8	Tyydyttävä
2 / 60 / 2,5	0,0	0,0	3,5	2,8	0,7	Tyydyttävä
3 / 60 / 2,5	0,0	0,0	3,5	2,9	0,6	Tyydyttävä
<b>Koe II</b>						
4 / 60 / 2,5	7,0 / 0,7	0,0	5,8	2,8	3,0	Huono
5 / 60 / 2,5	7,0 / 0,7	0,0	6,8	2,8	4,0	Huono
6 / 60 / 2,5	7,0 / 0,7	0,0	5,9	2,8	3,1	Huono
<b>Koe III</b>						
7 / 60 / 2,5	0,0	1,2 / 0,12	6,2	2,8	3,4	Huono
8 / 60 / 2,5	0,0	1,2 / 0,12	4,5	2,9	1,6	Tyydyttävä
9 / 60 / 2,5	0,0	1,2 / 0,12	3,5	2,8	0,7	Tyydyttävä
<b>Koe IV</b>						
9 / 60 / 2,5	3,5 / 0,35	1,2 / 0,12	9,0	2,8	6,2	Huono
10 / 60 / 2,5	3,5 / 0,35	1,2 / 0,12	7,6	2,8	4,8	Huono
<b>Koe V</b>						
11 / 60 / 5,5	3,5 / 0,35	2,4 / 0,24	14,2	2,8	11,4	Huono
12 / 60 / 5,5	3,5 / 0,35	2,4 / 0,24	13,5	2,8	10,7	Huono

## 2.4.2 Kiviainesten hienoinestutkimukset

Kesän 1996 kenttäkokeissa tehtyjen MYR-kokeiden tulosten perusteella valittiin jatkotutkimuksia varten neljä kiviainesta. Yksi soramurske edusti hyvän massan kiviainesta (Kallioselkä). Kahdella murskeella (Laajakummun sora-murske ja Pekastinvaaran kalliomurske) tehdyillä massoilla normaalista massan valmistuslämpötilasta poikkeavat lämmöt huononsivat MYR-arvoja.

Yksi tutkittava soramurske oli yöllisen sateen jälkeen erittäin märkää (Hirvikallio). Siitä tehdyn massan MYR-arvot olivat erittäin huonoja. Lisäksi vuoden 1995 kohteesta yksi oli soramurske, jossa lämpötilalla oli ollut vaikutusta massan vedenkestävyyteen (Loukola).

Valituista soramurskeista tutkittiin humuspitoisuus NaOH- ja polttomenetelmällä (PANK-2106 ja PANK-2111). Kalliomurske tutkittiin vain polttomenetelmällä. Veden adsorptio tutkittiin PANK-2108 -ohjeen mukaisesti. Kaksi henkilöä tutki humuspitoisuuden polttomenetelmällä sekä veden adsorption samoista raaka-aineista. Näin saatiin suurempi varmuus tulosten oikeellisuudesta (kuvat 4 ja 5). Lisäksi tehtiin kiviaineksen lietekoe mittalasitestillä. Kalliomurskeesta ei tehty NaOH- ja lietekoetta. /16,17,18/

**Taulukko 6.** Hienoainetutkimusten tulokset MYR-kokeiden kiviaineksista.

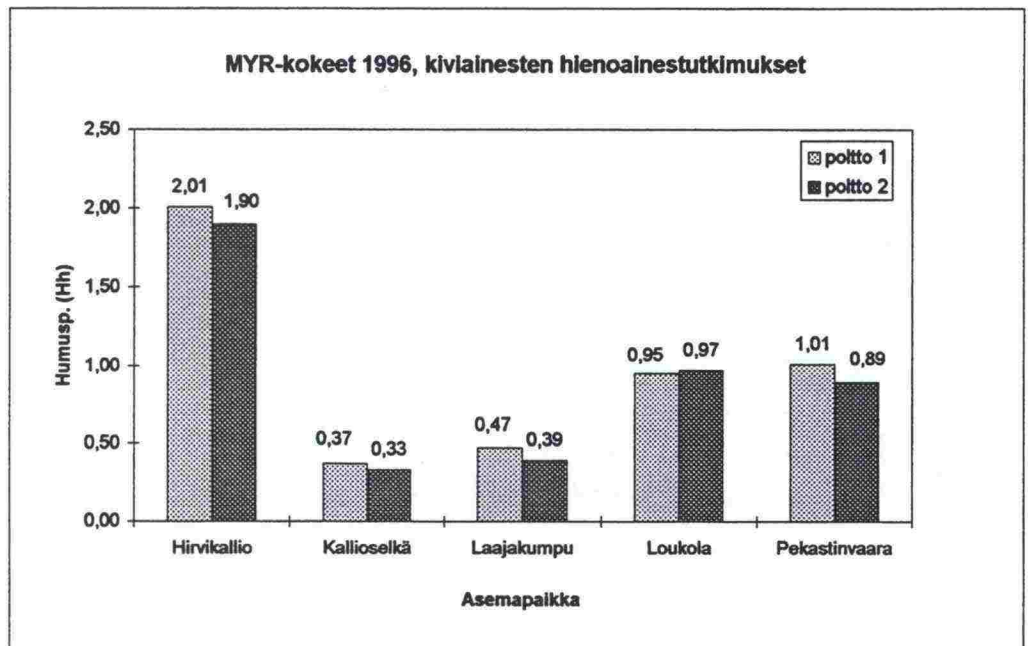
OMINAISUUS	HIRVI-KALLIO SrM	KALLIO-SELKÄ SrM	LAAJA-KUMPU SrM	LOUKOLA SrM	PEKASTIN-VAARA KaM
<b>Humuspitoisuus (Hh):</b>					
-poltto 1, (%) (PANK-2111)	2,01	0,37	0,47	0,95	1,01
-poltto 2, (%) "	1,90	0,33	0,39	0,97	0,89
-NaOH (PANK-2106)	0	I	0 / I	II	-
<b>Veden adsorptio (An):</b>					
-adsorptio 1, (%) (PANK-2108)	1,16	1,31	1,74	2,33	1,26
-adsorptio 2, (%) "	1,03	1,01	1,21	2,13	0,96
<b>Liete, (%) (Mittalasi)</b>	6,6	1,3	8,1	5,3	-
Aikaisemmin tutkittu Ominaispinta-ala, m <sup>2</sup> /kg	4937	-	3419	8261	2768

Polttomenetelmällä tutkituista kiviaineksista humuspitoisuus oli pienin Kallioselän murskeessa ja suurin Hirvikallion näytteessä. NaOH-menetelmällä soramurskeita tutkittaessa humuspitoisuus oli suurin Loukolan kiviaineksessa ja pienin Hirvikallion näytteessä. Kahdella eri menetelmällä saadut humuspitoisuudet olivat ristiriitaisia, mikä näkyi selvimmin Hirvikallion tuloksista.

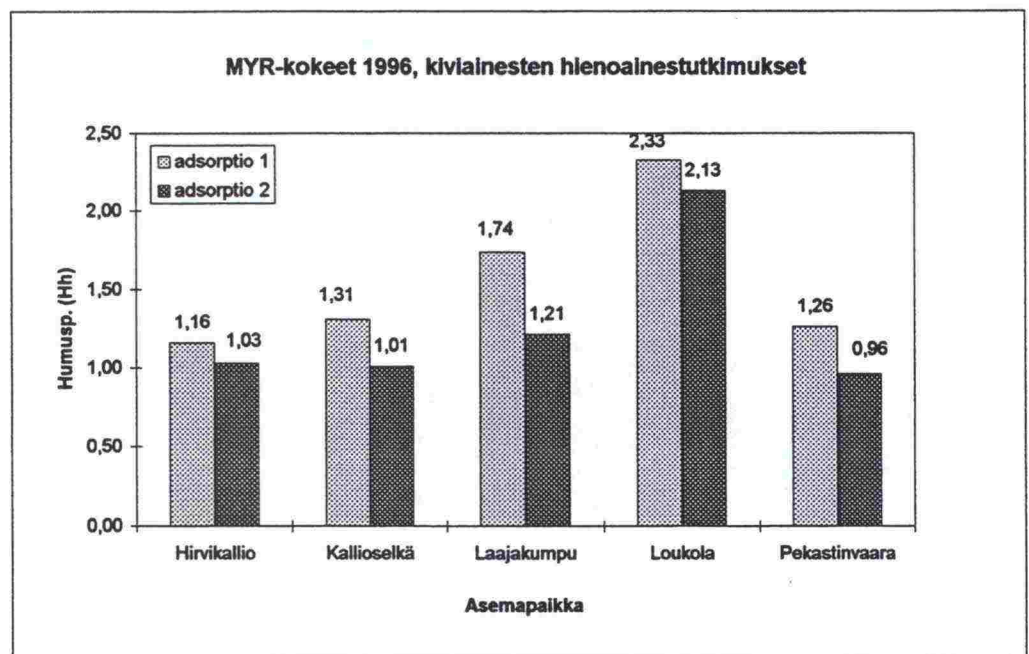
Veden adsorptiokokeista koesarjan yksi tulokset olivat kauttaaltaan hieman suurempia. Tähän on voinut vaikuttaa näytteen paino sekä näytteen pinta-ala, joka adsorboi vesihöyryä eksikkaattorissa.

Lisäksi oli käytettävissä neljältä asemapaikalta aiemmin tutkittuja hienoaineksen ominaispinta-alatuloksia. Näiden ja adsorptiotulosten suhde kertoo, onko kiviaines vesipakoinen vai vesihakuinen (hydrofobinen vai hydrofiilinen). Vaikka ominaispinta-alatutkimuksissa on käytetty samojen asemapaikkojen kiviaineksia, niin tulokset ovat näiden osalta vain suuntaa antavia, koska kysymys on kuitenkin eri näyte-erästä. /6/





**Kuva 4.** Humuspitoisuus polttomenetelmällä kahden eri henkilön tekemänä.



**Kuva 5.** Vedenadsorptiokokeen tulokset kahden eri henkilön tekemänä.

### 2.4.3 MYR-koesarjat eri vesipitoisuuksilla

Syksyllä 1996 tehtiin lisätutkimuksia kentältä saatujen MYR-tietojen ja savu-kaasumittaustulosten pohjalta. Tässä vaiheessa tiedettiin myös, mitä epäpuhtauksia syntyy huonon palamisen seurauksena.

Kokeissa käytettiin juuri niitä viittä kiviainesta, joista oli tutkittu hienoainesisminäisyyksiä. Lisäksi joidenkin asemapaikkojen sora-alueen vastaavista murskeista oli tehty aiemmin muita ominaisuuksia koskevia kokeita, joista saadut tiedot voivat olla suuntaa antavia (taulukko 6).

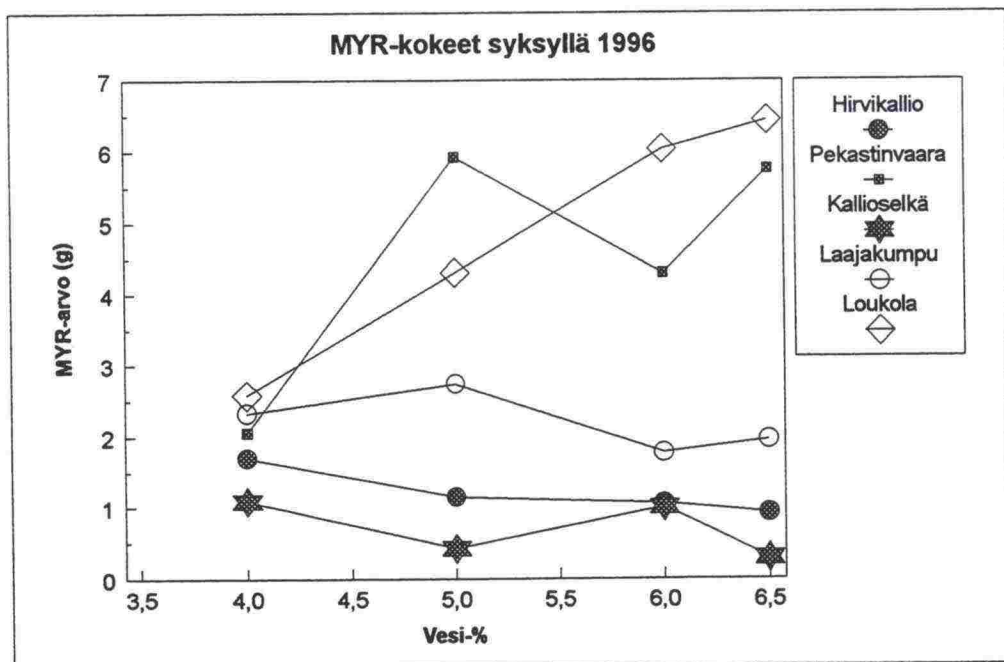
MYR-kokeita varten jokaisesta viidestä kuivatusta kiviaineksesta suhteutettiin kilon suuruisia annoksia koetta varten (taulukko 7).

**Taulukko 7.** Läpäisyprosenttien valinta ohjeseuloilla.

Ohjeseula (mm)	Läpäisy (%)
0,074	7
0,5	18
2	33
8	64

Sideaineena käytettiin V1500-bitumia ja bitumipitoisuutena 3,40 %. Tartukkeen määrä oli 0,4 % sideaineen määrästä. Hienoimman seulan (0,074) läpäisyprosentiksi valittiin 7,0 %, jotta hienoainesten ominaisuuksien vaikutus näkyisi paremmin MYR-kokeissa. Koemassan lämpötilaksi valittiin 50 °C, jotta haihtuminen olisi pienempää.

Nyt otettiin muuttujaksi vain vesi, sillä kun vettä lisättiin keväällä tehdyissä kokeissa, niin se huononsi selvästi MYR-arvoa (kuva 6). Myös Hirvikallion mären murskeen suuret MYR-arvot vaikuttivat jatkotutkimuksiin juuri vesipitoisuuden osalta.



**Kuva 6.** Vesipitoisuuden vaikutus MYR-arvoihin.

Sekoitetun massan peittoaste oli parempi kuin keväällä, se oli nyt 80-90 %. Massa oli myös homogeenisempää ja hienoainepaakkuja oli huomattavasti vähemmän kuin kevään kokeissa. Sekoitusaika oli nyt lyhyempi, 45 sekuntia. Bitumia tartukkeineen lämmitettiin viidelle annokselle kerrallaan. Näin voitiin varmistaa, että jokaisen annoksen sideaine- ja tartukepitoisuus oli



sama koesarjoittain. Jokaisen massanäytteen bitumi mitattiin valmiiseen annoskokoon pieneen mittalasiin, josta se kaadettiin kiviaineksen sekaan samalla sekoittaen. Näin estettiin bitumin tarpeeton jäähtyminen ja sen seurauksena huonompi sekoittuminen ja hienoaineksen paakkuntuminen. Massa oli homogeenisempaa.

## 2.5 Tulosten tarkastelu

Kesän tutkimustulokset antoivat vastauksia joihinkin kysymyksiin. Toisaalta tutkimusten myötä heräsi paljon uusia kysymyksiä, joiden selvittäminen vaatisi lisää ponnisteluja (esim. höyryn lämpötilan vaikutus kiviaineksen vesipitoisuuteen kiviaineksen eri lämpötiloissa). Näin voidaan löytää ratkaisu massan laatua heikentäviin syihin. Jos massan valmistusprosessi hallittaisiin kaikilla osa-alueilla, tartukepitoisuudet voitaisiin optimoida asemapaikkakohtaisesti. Vuonna 1996 PAB-massojen valmistuksessa tartukemäärät vaihtelivat huomattavasti eri kohteissa.

### 2.5.1 Sekoitustemperatuurin vaikutus MYR-arvoihin ja päälysteen laatuun

Massan lämpötilan ollessa lähellä 30 astetta MYR-arvot yleensä huononevat. Jos hienoaineksen määrä on suuri, niin hienoainepaakkuja syntyy paljon ja massan peittoaste jää alhaiseksi. Lämpötilan noustessa noin 50 asteeseen MYR-arvot ja peittoaste paranevat ja hienoainepaakut vähenevät. Massa muuttuu samalla tasalaatuisemmaksi. Kun massan lämpötilaa edelleen nostetaan, niin massan homogeenisuus paranee ja paakkuisuus vähenee. MYR-arvot voivat kuitenkin joko nousta tai laskea. Tähän ei tutkimuksessa pystytty löytämään yksiselitteistä ratkaisua.

### 2.5.2 Savukaasujen vaikutus MYR-arvoihin ja päälysteen laatuun

Kesällä 1996 kenttäoloissa tehtyjen savukaasumittausten perusteella voidaan todeta, että suurelleen CO-arvot ja niistä seuraavat epäpuhtaudet eivät vaikuta massan vedenkestävyyteen todistettavasti. Vaikka CO-pitoisuudet olivat joissakin kohteissa paloteknisesti lähes yhdeksän kertaa EN-standardin mukaan hyväksyttäviä arvoja suuremmat, niin epäpuhtaudet eivät sitoudu kiviainekseen vaan kulkeutuvat ympäröivään ilmaan kiviaineksen läpi karkaavan vesihöyryn mukana /13/. Aseman suuriin tehoihin (n. 180 t/h) nähden päästöjen kokonaismäärät ovat pieniä massayksikköön verrattuna.

### 2.5.3 Savukaasujen vaikutus aseman käytön ja ympäristön kannalta

Huonon palamisen seurauksena syntyvä noki on haitallista palamiskaa-suhöyrynkehittimen toiminnalle. Järjestelmässä oleva noki lisää huollon tarvetta. Myös prosessin hyötysuhde alenee. Alentunut hyötysuhde lisää polttoöljyn kulutusta. Polttoaineen kulutuksen kasvu vaikuttaa taas suoraan hiilidioksidipäästöjen lisääntymiseen. /2,13/

Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, joka pitkän elinikänsä (50 - 200 vuotta) vuoksi on pitkään haitallinen. Palamisen yhteydessä syntyy myös hiilivety-päästöjä ja typen oksidia. Suomen leveysasteella niiden ei katsota aiheuttavan myrkyllistä otsonia. Huonon palotapahtuman seurauksena syntyvät häikäspäästöpitoisuudet eivät ole hengenvaarallisia ulkoilmassa. /5,13/

Höyrylämmitystekniikka voi aiheuttaa huonon palamisen vuoksi haitallisia päästöjä ympäristöön. Öljysora voidaan kuitenkin korvata ympäristöystävällisellä massalla. Tämä taas poistaa haitallisten liuottimien aiheuttamat hiilivetypäästöt, joiden osuus oli öljysoran käytön aikana noin 2 % Suomen hiilivetypäästöistä. /1/

Vaikka kokonaispäästöt ovat vähentyneet pehmeiden päällysteiden myötä, niin on kuitenkin pyrittävä tehojen lisäykseen ja puhtaaseen tuotantoon tekniikkaa kehittämällä, varsinkin kun osa laitoksista toimii paloteknisesti puhtaasti.

#### **2.5.4 Kiviainesten hienoaineksen ja vesipitoisuuden vaikutus MYR-arvoihin ja päällysteen laatuun**

Kenttäoloissa saatujen MYR-tulosten ja laboratoriossa kiviainesten hienoainesominaisuuksista tehtyjen lisätutkimusten perusteella voitiin tehdä se havainto, että kun kiviaineksen hienoainesmäärä ja lietepitoisuus ovat pieniä, niin massa on kenttäoloissa homogeenista ja sen peittoaste on hyvä.

Lisäksi havaittiin, että veden vaikutus laboratoriossa tehdyn koemassan MYR-tuloksiin on pieni, jos lietepitoisuus on vähäinen, vaikka hienoainesmäärä on iso ja kiviaines sisältää vähäisen määrän humusta (Kallioselkä). Vesipitoisuuden lisääminen huonontaa MYR-arvoa, jos lietepitoisuus, veden adsorptio ja humuspitoisuus ovat suuria (Loukola).

Kentällä valmistettujen massojen suurten hienoainespitoisuuksien vaikutus MYR-arvoihin on vähäinen, jos massan lämpötila on 45 - 55 °C. Toisaalta hienoaineksen suuri määrä lisää hienoainespaakkujen määrää, minkä takia peittoaste huononee. Nämä huonot ominaisuudet pahenevat, kun massan lämpötilaa lasketaan.

#### **2.5.5 MYR-laboratoriokokeen ja MYR-kenttäkokeen yhteys**

Keväällä laboratoriossa tehdyissä koemassoissa bitumi kaadettiin kiviaineksen päälle ennen sekoitusta. Se ei vastaa todellista massanvalmistusta. Kaatamalla ennen sekoitusta lisätty bitumi jäähtyy pienissä annoksissa nopeasti, minkä vuoksi massa ei ole homogeenista ja peittoaste jää huonoksi. Jäähtyneen bitumin sekoittaminen lisää myös hienoainespaakkuja. Tuloksissa esiintyy helposti suurta hajontaa, ja huonon peittoasteen seurauksena MYR-arvot saattavat olla paljon suurempia kuin vastaavasta kiviaineksestä tehdyssä massassa kentällä. Koemassojen huonon laadun takia on vaikea todeta yhteyttä kentällä valmistettuun massaan.

Syksyllä 1996 laboratoriossa tehtyihin koemassoihin lisättiin valmiiksi mitattu bitumi samalla kiviainesta sekoittaen. Pienistä koemassoista tulee tällä menetelmällä homogeenisempia ja niiden peittoasteet ovat parempia. Vesipitoisuuden lisäys huononsi Loukolan murskeesta tehtyjen koemassojen MYR-arvoja. Tällä on yhteys myös kentältä saatuihin tuloksiin, joissa MYR-arvot kasvoivat lämpötilan noustessa. Aluksi höyrytetyn kiven vesipitoisuus kasvaa kiviaineksen lämpötilaa nostettaessa johonkin rajaan asti. Tähän rajaan taas vaikuttavat höyryn lämpötila ja todennäköisesti kiviaineksen hienoainesominaisuudet, ts. kuinka vesihakuinen se on.



### 3 VARASTOMASSAT

Kesällä 1996 selvitettiin muutamilla asfalttiasemilla valmistettujen PAB-V-varastomassojen ominaisuuksia viskositeettitutkimuksin ja työstettävyyttä haastattelujen avulla.

Turun tiepiirin asfalttiasemalla tehtiin PAB-V 16 -massaa varastoon kesäkuun alkupäivinä. Massan sekoituslämpötila oli 110-120 °C ja sideaineena käytettiin pehmeää bitumia V1500 T 05. Sideainepitoisuus kolmen näytteen keskiarvona oli 3,65 % ohjepitoisuuden ollessa 3,6 %. Massanäytteiden kosteuspitoisuus oli keskimäärin 0,06 %. Massa levitettiin osin tielle heti, osin seuraavana päivänä ja osa jätettiin varastokasaan myöhemmin kesällä käytettäväksi.

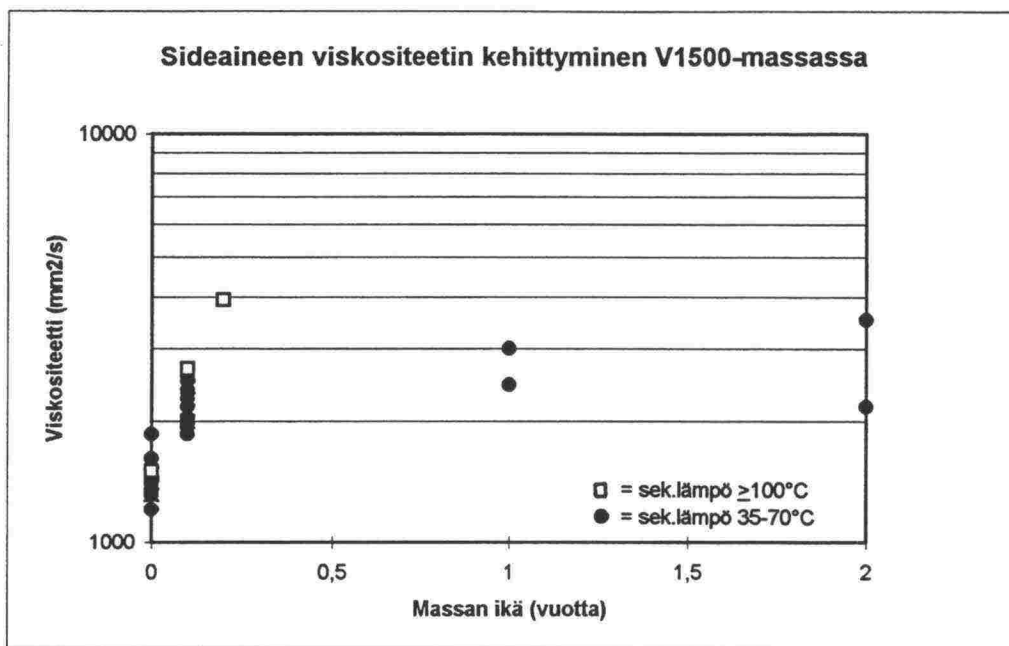
Raision tiemestaripiirissä levitettiin tätä varastomassaa mm. heinäkuussa SOP-teiden liittymiin käsityönä. Kuormattaessa massaa kasasta se oli tiukassa, koska kasan päällä oli ajettu kasaa tehtäessä. Massassa oli kokareita, jotka tosin kuormattaessa hajosivat. Ilman lämpötila oli noin 15 °C eikä massan levitystä koettu PAB-O-massasta poikkeavaksi. Raision tiemestaripiirissä syksyllä ja talvella paikkauksia tehtäessä käytetään lämpölavaa, jolla massa lämmitetään ennen käyttöä. Paikkausmassana PAB-V-massaan oltiin tyytyväisiä, paikat ovat kestäneet hyvin vanhoilla PAB-O-teillä. /14/

Savo-Karjalan tiepiirissä tehtiin PAB-V 16 -massaa Hukkavaaran kalliomurskeesta asfalttiasemalla heinäkuun alussa. Massan sekoituslämpötila oli noin 100 °C ja sideaineena käytettiin V1500 T06. Sideainepitoisuus kuuden näytteen keskiarvona oli 3,6 % ohjepitoisuuden ollessa 3,5 %. Massanäytteiden kosteuspitoisuus oli keskimäärin 0,04 %.

Suunnitelmista poiketen varastomassan levitys tuli ajankohtaiseksi jo kahden viikon kuluttua massan valmistuksesta, joten varastointiaika jäi lyhyeksi. Massa valmistettiin öljysoraremixerin lisämassaksi. Koeosuudella massaa levitettiin 80 kg/m<sup>2</sup> Roadmix III -laitteella vanhaa PAB-O-pintaa käsittelemättä ja kuumentamatta. Koeosuuden (Mt 5284 Valtimo - Ylä-Valtimo, tieosa 2, plv 546-736, suunta 2) tekeminen onnistui vaikeuksista. Ilman lämpötila massaa levitettäessä oli 8 °C. Massan lämpötila levityspaikalla oli noin 30 °C. Massan jäykkyys oli normaali, paakkuuntuneisuutta ei esiintynyt ja pinta oli tasalaatuinen levityksen jälkeen. Tiivistys tehtiin yhdellä valssijyrällä (työpaino 8-10 t) ja jyrättävyys oli tavanomainen. Pinnan tasaisuus silmä­määräisesti arvioituna oli normaali. /10/

Sekä Turun tiepiirin että Savo-Karjalan tiepiirin varastomassoista otettiin levityshetkellä massanäytteet, jotka tutkittiin Neste Oy:n laboratoriossa noin kolmen kuukauden kuluttua näytteiden otosta. Näytteitä säilytettiin tämä aika tiiviissä pusseissa. Massanäytteistä uutettiin sideaine, jonka viskositeetti tutkittiin. Turun tiepiirin näytteessä sideaineen viskositeetti oli 3940 mm<sup>2</sup>/s ja sideainepitoisuus 3,7 %. Savo-Karjalan tiepiirin näytteessä sideaineen viskositeetti oli 2680 mm<sup>2</sup>/s ja sideainepitoisuus 3,7 %.

Jos verrataan näitä viskositeettituloksia vuosina 1994-1995 massanäytteistä uutetuista sideaineista määritettyihin viskositeetteihin /4,9/ havaitaan, että 0,5-1,5 kk:n ikäisinä näiden asfalttiasemilla (100-120 °C) valmistettujen massojen sideaineiden viskositeetit ovat hieman korkeampia verrattuina alhaisemmissa lämpötiloissa (35-70 °C) turbo- ja rumpuasemilla sekoitetuista V1500-massoista määritettyihin arvoihin (kuva 7).



**Kuva 7.** Eri ikäisten V1500-massojen sideaineista määritettyjä viskositeetteja ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ).

Lapin tiepiirissä on tehty turboasemalla varastoon vuosina 1994-96 PAB-V-massoja, joita on pääosin levitetty saman kesän aikana. V1500-massoja on levitetty asfaltinlevittimellä ja V3000-massoja REMO-lisämassoina. Työt ovat onnistuneet normaalisti. Levitysaikaisen lämpötilan on todettu vaikuttavan eniten lopputulokseen. Kun ilman lämpötila laskee alle 15 asteen, massan levitys voi vaikeutua ja päällysteestä saattaa tulla epätasainen. Myös 1-3 vuoden ikäisiä varastomassoja on levitetty kohtuullisella menestyksellä. Sideainepitoisuutena on käytetty 3,4-3,5 %:a ja tartukepitoisuutena keskimäärin 0,8 %:a. Sekoitustemperatuurina on yleensä ollut 55 °C. /4,9/

Lapin piirin turboasemalla on tehty myös paikkausmassoja, joiden maksimiraekoko on 8 tai 10 mm. Massoja on käytetty lähinnä käsipaikkaukseen. Kylmällä ilmalla tarvittava massamäärä otetaan esim. auton peräkärryyn yön ajaksi autotalliin lämpiämään, jolloin se on hyvin käsiteltävissä seuraavana päivänä. Paikkausmassat on tehty sideaineella V1500 ja sideainepitoisuutena on ollut 4,5 %.

## 4 KOETEIDEN VAURIOKARTOITUS

### 4.1 Seurantaohjelma

Vuosina 1991-95 rakennettiin PAB-koetiepäällysteitä yhteensä noin 230 km. Vuonna 1991 tehtiin Harjavaltaan ASTO-projektiin kuuluva PAB-koetie. Vuosien 1992-93 PAB-V- ja PAB-B-koetiepäällysteet toteutettiin emulsiotekniikalla. Näiden ns. emulsiosorakoiteiden yhteispituus on noin 130 km. Vuosina 1994-95, pääosin emulgoimattomasta pehmeästä bitumista lämmitystekniikkaa käyttäen tehtyjä koeteitä on noin 100 km.



Koekohteita on paljon ja niissä on usein kokeiltu samaa sideainetta tai työtekniikkaa vain eri kiviaineksella tuomaan varmuutta käytetylle menetelmälle. Tämän takia kaikkien koeteiden systemaattinen seuranta ei ole järkevää. Niinpä työryhmä valitsi koeteiden joukosta 66 km kohteita, jotka ovat mahdollisimman edustavia. Työryhmä suosittelee taulukon 8 mukaisten koeteiden seurantaan kolmen vuoden välein ja aina ennen uudelleen päällystämistä. Seurantaan tulee kuulua vaurioinventointi ja tasaisuusmittaus.

Kaikki PAB-koetiet ovat päällystekoetierekisterissä, jota ylläpidetään Tie- ja liikennetekniikka -yksikössä. Jos tiepiiri mittaa kohteita seurantaohjelman ulkopuolella, toivotaan mittaustulokset lähetettävän tiedoksi myös päällystekoetierekisteriin.

Seurantaohjelmaan valittujen koeteiden vauriokartoitus ja tasaisuusmittaus tehtiin kesällä 1996. Vuosina 1992-93 rakennetut koetiet on mitattu vuonna 1994, jolloin tuloksista tehtiin yhteenveto Kehittämiskeskuksessa /8/.

**Taulukko 8. Seurantaohjelmaan vuonna 1996 valitut koetiet.**

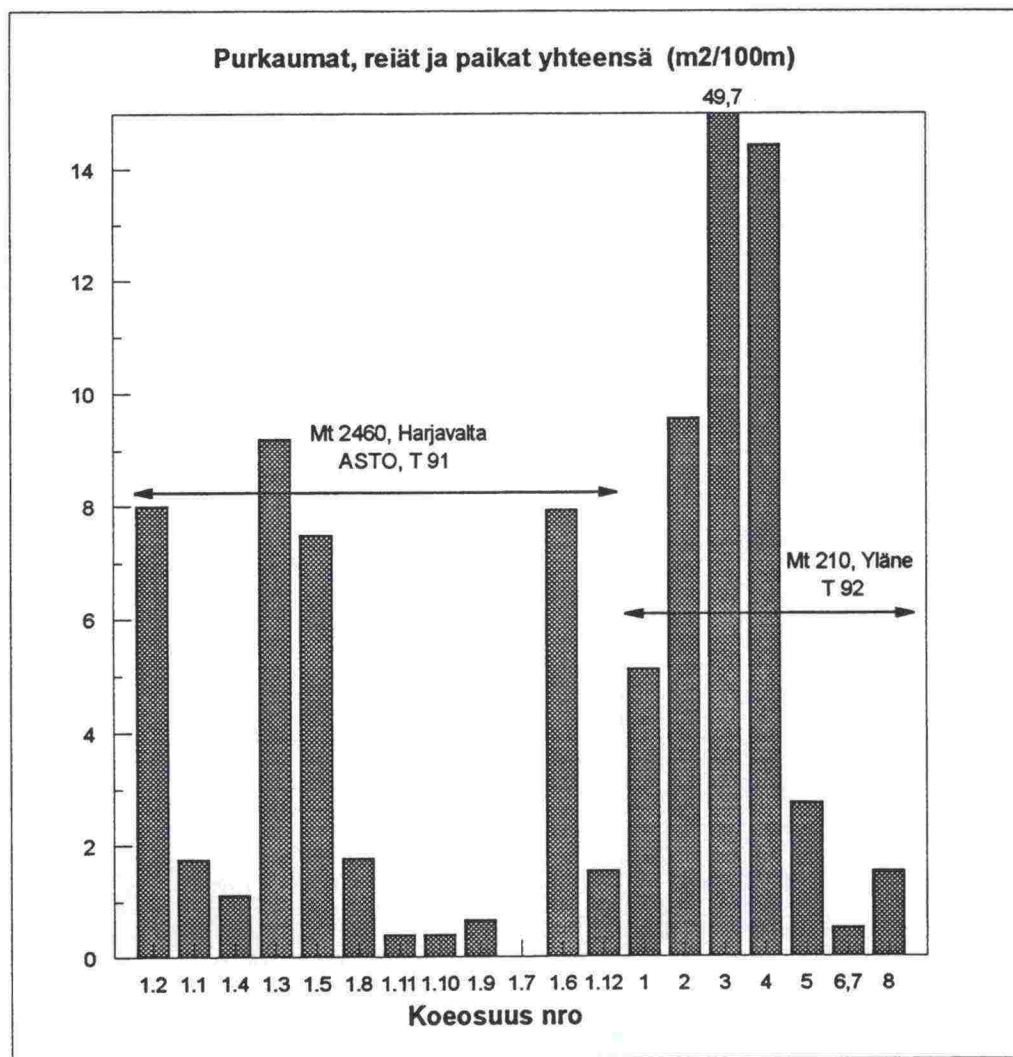
Tiepiiri	Vuosi	Tienro 1996	Sijainti	Sideaineet	Työtekniikka
T	1991	2 460	Harjavalta-Häyhtiönmaa, Kokemäki	BE-PAB3, V3000, B650/900, BE-PAB6, B 15000, BÖ2	kylmäsek, asf.asema
T	1 992	210	Yläne-Virttaa Yläne	BE-PAB1, BE-PAB3, BE-PAB6, BÖ2	turbo
T	1 993	13 539	Lahti, Somero	BE-PAB1	kylmä (VEM)
T	1 993	1 835	Kumpula-Kemiö Salo	BE-PAB1, BE-PAB3, BE 1000, BÖ2	kylmä (VEM)
KaS	1 992	14 535	Purola-Munapirtti, Pyhtää	BE-PAB3, BÖ2	turbo
KaS	1 995	15 283	Mataramäki Pieksämäki	V1500 (T02...08)	turbo
SK	1 994	5 731	Kaavi-Sivakkavaara, Kaavi	V1500	rumpu
V	1 994	17 965	Sandbacka-Såka, Kruunupyy	V1500	asf.asema
O	1 994	88	Vihanti-Alpua, Vihanti	V1500, V3000	turbo, rumpu
O	1 994	8 694	Viipusjärvi-Jyrkäkoski, Kuusamo	V1500, V3000, BE-PAB1, BE-PAB6	turbo
L	1 993	19 575	Tervola-Paakkola, Tervola	V1500, V3000, BE-PAB1, BE-PAB3	turbo
L	1 995	9 523	Norvajärvi, Rovaniemi	V1500, V3000, BE-PAB1, BE-PAB3	varastoista

## 4.2 Tulokset

Vauriokartoitus tehtiin Kehittämiskeskuksen toimesta 3.-12.6.96 ja tasaisuudet mitattiin tiepiirien toimesta kesän 1996 aikana. Vauriokartoitus tehtiin Päällystevaurioiden inventointiohjeen (TIEL 4000063) mukaisesti, kuitenkin niin että myös paikat (m<sup>2</sup>) laskettiin. Lisäksi koeosuudet on tarkastettu kävellen, jolloin tarkastelu on luonnollisesti tarkempi kuin autosta käsin ohjeen

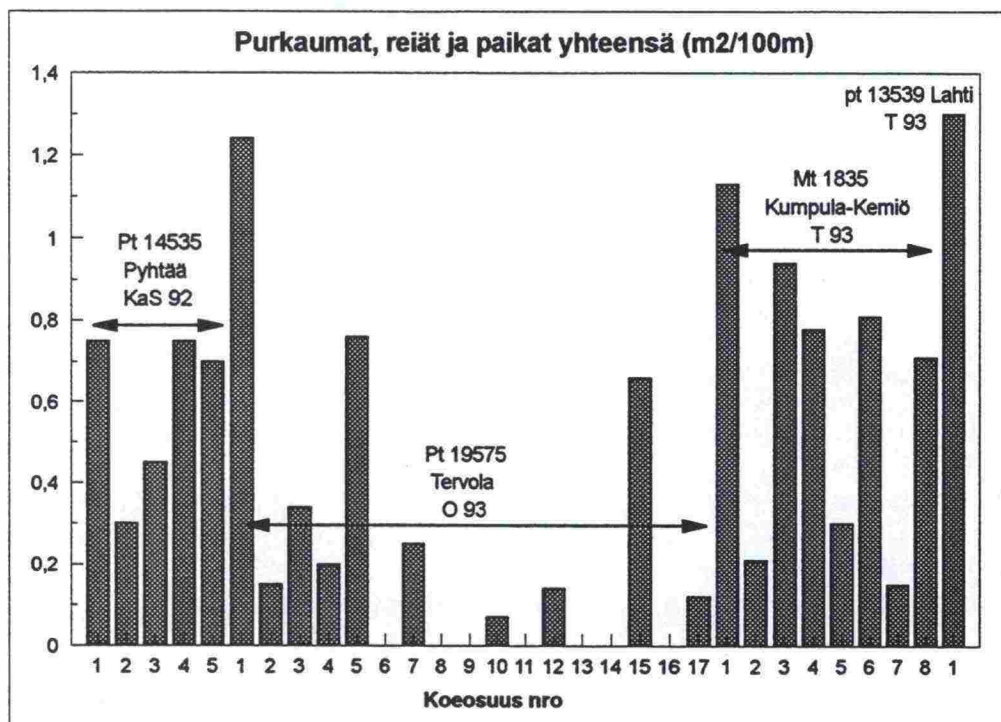
mukaisesti tehtynä. Yhteismitallisuutta vaurioinventointiin tavoiteltiin sillä, että sama henkilö arvioi kaikki koetiet. Vaurioinventoinnin tulokset koeteittäin ja vauriotyypeittäin on esitetty liitteessä 3.

Koska koeosuudet ovat alustan suhteen erilaisissa oloissa, eikä alustan rakennetietoja ole systemaattisesti kerätty, ei siitä aiheutuvia vaurioita kuten halkeamia ja reunapainumia ole vertailtu osuuksien kesken. Sen sijaan vertailua on tehty purkautumien, reikien ja paikkojen määrän ( $\text{m}^2/100 \text{ m}$ ) perusteella kuvissa 8-10. Koeosuuden ollessa vain toisella kaistalla on sen pituus puolitettu, jolloin se vastaa tilannetta, jossa koeosuus on koko tien leveydeltä.

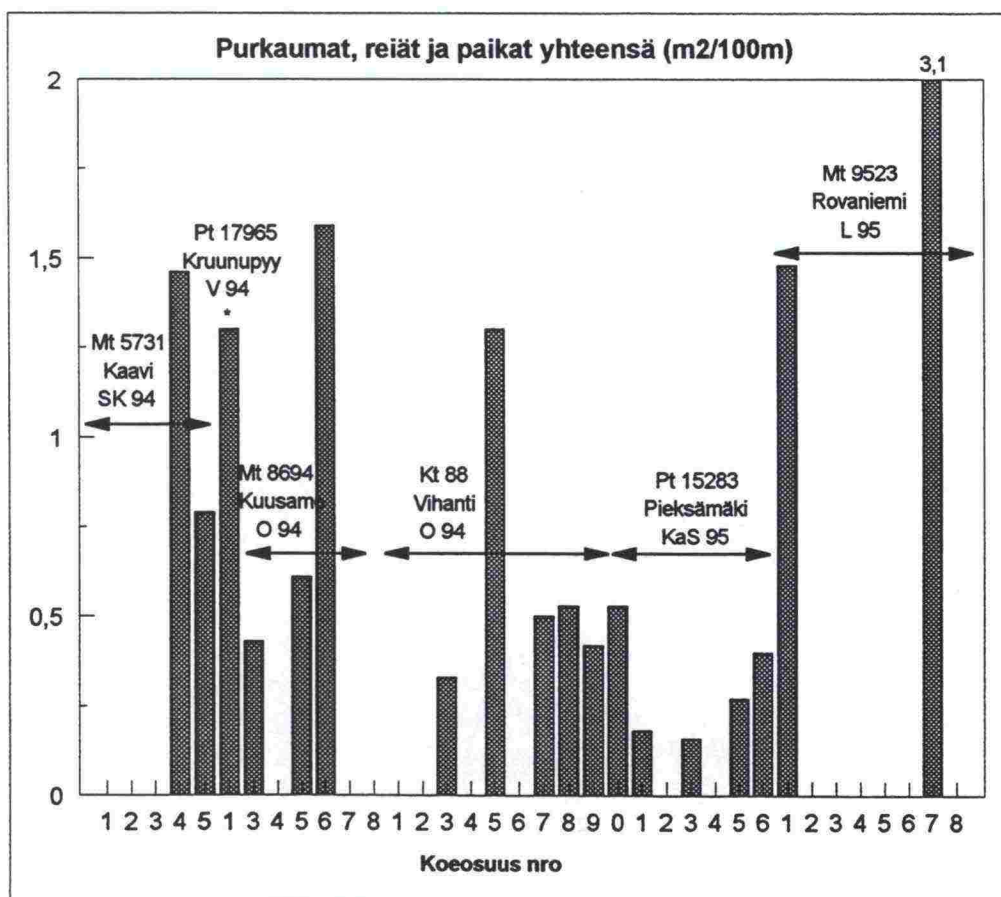


**Kuva 8.** Purkaumat, reiät ja paikat ( $\text{m}^2/100\text{m}$ ) Harjavallan ja Yläneen koeteillä.





Kuva 9. Purkaumat, reiät ja paikat (m<sup>2</sup>/100m) vuosien 1992-93 koeteillä.



Kuva 10. Purkaumat, reiät ja paikat (m<sup>2</sup>/100m) vuosien 1994-95 koeteillä.

Ongelmana tulosten vertailussa on se, että eri koetiet ja jopa yhden koetien eri osuudet saattavat olla toisiinsa nähden hyvin eri arvoisessa asemassa alustan epähomogeenisuuden tai epätasaisen liikennekuormituksen takia. Esimerkiksi Kruunupyyssä koko koetie on yhtä koeosuutta, joka pääosin on erittäin hyvässä kunnossa, mutta tien alussa on vilkas liittymä, jonka alueella (noin 50 metrin matkalla) on 84 % koko 3,6 km:n koeosuuden purkaumista. Tämä saattaa vertailun vaikeaksi, jos kyseessä on hyvin lyhyet koeosuudet. Lyhyitä koeosuuksia on mm. Rovaniemellä (varastomassojen levityskoikeilu), jossa lyhin koeosuus on 38 m vain toisella kaistalla. Koko Rovaniemen koetie on pituudeltaan vain 420 m. Tällä matkalla on yksi tonttiliittymä, jonka kohdalla on pientä purkaumaa osuuksilla 1 ja 7 yhteensä 3 m<sup>2</sup>, joten nämä osuudet erottuvat siellä muista tämän takia.

Pääosin koetiet ovat hyvässä kunnossa, ja purkaumat esiintyvät yleensä liittymissä. Selvästi pahimmin on vaurioitunut Yläneen vuonna 1992 rakennettua koetien 3.osuus. Osuudella on kylmänä sekoitettu päällyste, jonka sideaineena on BE-PAB3 /3,5%. Vielä huonompi yksittäinen osuus (67 m yhdellä kaistalla) sisältyy koeosuudelle 4 (lämmitetty kiviaines ja BE-PAB6/4,3%). Sinne tehtiin yksi kuorma kylmäsekoitteista massaa samalla sideaineella. Kuvia 8-10 vastaava vertailuluku tälle osuudelle on 78 m<sup>2</sup>/100m.

Harjavallan vuonna 1991 rakennetulla ASTO-koetiellä kokeiltiin erilaisia bitumiöljyn sovellutuksia (liite 3, s.1), mutta myös ensimmäistä kertaa pehmeitä bitumeja. Parhaimmassa kunnossa ovat kaikki kuumana sekoitetut tiivispintaiset osuudet 1.9, 1.10 ja 1.11 sekä kylmäsekoitteisista päällysteistä osuus 1.7, jolla sideaineena on BE-PAB3/6,35 %. Pahimmin vaurioitunut on osuus 1.3, jossa päällysteen kiviaineksena käytettiin Suomusjärven peridotiittia. Pinta on erittäin harva, kuten myös osuuksilla 1.5 ja 1.6.

Vuonna 1994 vauriokartoitukset tehtiin piireittäin ja havaittiin, että arvosteluasteikko ei välttämättä ole kaikilla arvioitsijoilla sama /8/. Vuoden 1996 vauriokartoituksessa tavoiteltiin yhteismitallisuutta sillä, että sama ihminen arvoi kaikki koetiet. Silti samalla asteikolla vertailu on vaikeaa, koska lähtötaso on joka tiellä erilainen. Tiiviistä pinnasta vauriot on helpompi erottaa kuin harvasta pinnasta, joka edelliseen verrattuna saattaa näyttää kauttaaltaan purkautuneelta.

Pieksämän Mataramäen vuonna 1995 päällystetty paikallistie oli kesäkuun lämpimänä päivänä tarkasteltuna pinnaltaan kaikkein pehmein arvioiduista teistä. Osuuksien 0 ja 1 rajalla päällysteen reuna oli juuri vaurioitunut raskaan ajoneuvon alla. Osuudet 2 ja 4 (sekoituslämpötila 30 °C) erottuivat kirjavuutensa puolesta selvästi muista lämpimämpänä sekoitetuista tummemmista ja tiiviimpipintaisista osuuksista, mutta kuitenkin vertailuluvulla arvioituina ne ovat ainoat vauriottomat osuudet tällä tiellä.

Vaurioita tarkasteltaessa tulee muistaa, että tässä julkaisussa esitetyt vauriomäärät eivät ole vertailukelpoisia päällystevaurioiden inventointitulosten (PVI) kanssa. Vauriokartoitus tehtiin tätä tutkimusta varten kävellen. Vauriot kirjattiin tarkemmin kuin PVI-mittauksissa, jotka tehdään autolla ajaen. Tässä tutkimuksessa haluttiin kuitenkin vertailla nimenomaan eri osuuksia keskenään ja hakea niille eroja. Neljälle seurantaohjelmassa mukana olevalle koetielelle on vuosina 1994-96 tehty PVI-mittaus. Vauriosummien perusteella arvioituna 2-4 vuoden ikäiset koetiet ovat vähintäänkin yhtä hyvässä kunnossa kuin vastaavan ikäiset inventoidut PAB-O-tiet keskimäärin.



## 5 PÄÄTELMÄT

### 5.1 MYR-arvot ja massan valmistus

Kenttäoloissa tehdyistä MYR-kokeista saadut tulokset osoittivat, että joillakin asemapaikoilla MYR-arvo nousi matalissa lämpötiloissa. Massanvalmistuksessa normaalisti käytettyä korkeampi lämpötila huononsi hieman MYR-arvoa kahdella asemapaikalla. Hirvikallion erittäin huonoihin MYR-arvoihin oli kiviaineksen suuren vesipitoisuuden ohella yhtenä todennäköisenä syynä tartukkeen tehon heikentyminen lämpövarastoinnin aikana.

Jos kiviaineksen ja bitumin tartunnassa on jotain häiriötä, niin se ilmenee huonona MYR-arvona. Sade ja liikenne saattavat helposti vaurioittaa vasta levitettyä massaa. Sade aiheuttaa huonon tartunnan omaavien kivirakeiden huuhtoutumista. Liikenteen alla tartunnaltaan huono kiviaines jää renkaisiin kiinni ja tielle levitetyn laatan pinnassa alkaa tapahtua purkaantumista. Kun tartunnassa on ongelmia, on erityisen tärkeää, ettei massaa levitetä sateella ja ettei liikennettä lasketa heti uudelle, suojaamattomalle pinnalle (hiekoitus). Huonosta alkutarttuvuudesta aiheutuvat ongelmat näyttäisivät kuitenkin poistuvan ajan myötä (Loukola).

MYR-arvo kuvaa hyvin massan vaurioherkkyyttä heti levityksen jälkeen. Vuonna 1996 saatujen tulosten perusteella MYR-arvolle suositellaan taulukossa 9 esitettyjä rajoja.

**Taulukko 9.** Suositukset MYR-arvoille.

MYR-arvo (g)	Ominaisuus
0,0 - 0,5	Hyvä
0,6 - 2,0	Tyydyttävä
2,1 -	Huono

Kenttätutkimuksissa havaittiin, että PAB-V-massoissa hienoaainespaakut lisääntyvät alle 40 °C:n sekoituslämpötiloissa. Yhtenä syynä on, että sideaineen lämpötila alenee sitä nopeammin mitä kylmempään kiviainekseen se ruiskutetaan. Nopeasti jäähtyessään sideaine ei sekoitu hyvin koko kiviainekseen, vaan pyrkii paakkuuntumaan yhdessä hienoainespaakun kanssa /3/. Tämän seurauksena karkeampien paljaiden tai osin sideaineella peittyneiden kivirakeiden määrä lisääntyy.

Peittoasteen ja hienoaainespaakkuuntumisen suhteen oli kuitenkin asema-kohtaisia eroja. Tähän ovat todennäköisesti vaikuttaneet kiviaineksen ominaisuudet yhdessä massan valmistusprosessin kanssa. Valmistusprosessissa massan laatuun vaikuttavat kiviaineksen syöttö (lajitteista tehtäessä syöttöjärjestys) sekä tekniikka, jolla sekoittimeen putoavaan kiviainekseen ruiskutetaan sideainetta /3/. Sekoitussajalla ja tekniikalla voidaan myös vaikuttaa hienoaainespaakkuuntumisen määrään.

Kesällä 1996 saatujen kokemusten perusteella massan valmistuslämpötilan olisi hyvä olla PAB-V-massoilla 40 °C tai enemmän. Lisäksi tulisi seurata massanvalmistusprosessin vaikutuksia massan laatuun.

## 5.2 Höryylämmitysmenetelmä ja savukaasun CO-arvo

Höryylämmitysmenetelmässä kiviainesta lämmittävän höyryn lämpötila ja palamiskaasuhöyrykehittimien teho vaikuttavat kuumina valmistettavien massojen tuotantomääriin. Tästä seuraa, että kuumemmalla höyryllä ja suurempitehoisilla laitoksilla saadaan kuumempia massoja suuremmalla tuntiteholla. Tämä vaatii lähinnä tulipesän jäähdytystekniikan edelleen kehittelyä sekä riittävän määrän paloilmaa palotapahtumaan. Riittävä paloilma myötävaikuttaa palamisen puhtauteen ja vähentää huonosta palamisesta syntyviä haittoja. Kiviainessilojen lämmitysjärjestelmää tulee kehittää edelleen, jotta saataisiin optimaalinen hyöty kiviainesta lämmittävästä höyrystä. Siiloissa olevien hienojen laitteiden vastapainon ja höyryn paineen suhteeseen olisi kiinnitettävä huomiota, ettei höyry puhkaise siilossa olevaa lajitetta ja pake-ne hukkalämpönä taivaalle.

Vuoden 1996 PAB-massojen valmistukseen käytettyjen palamiskaasuhöyrykehittimien savukaasumittauksien (kiviainesta lämmittävästä höyrystä) tuloksissa on pieniä ja suuria CO-arvoja (ppm). Niistä ilmenee häkäkaasun määrä miljoonasosina. Kun palaminen on hyvää kevyellä polttoöljyllä, on CO-pitoisuus alle 30 ppm. Suurin osa vuoden 1996 savukaasumittausten CO-tuloksista oli myös tämän rajan alapuolella. Suuriin hiilimonoksidiarvoihin johtivat yleensä liian suuret polttoaineen syöttömäärät suhteessa puh-taan palamisen tarvitsemaan ilmamäärään. Lisäksi oli joitakin ilmavuotoja (varoventtiilit) ennen palotapahtumaa, jolloin palamiseen tarvittava ilma-määrä oli liian pieni.

Koska lähes kaikki mitatut arvot olivat pieniä, on luontevaa noudattaa EN 267 -standardin mukaista CO-pitoisuuden raja-arvoa 112 ppm. Tämä tulisi mitata kenttäoloissa mahdollisimman pian aseman käyttöönoton jälkeen. Jos raja-arvo ylitetään, tulisi uusintamittauksin varmistaa, että palamistapah-tumaan liittyviä toimintoja on säädetty raja-arvon saavuttamiseksi.

## 5.3 Varastomassat

Höryylämmitystekniikalla valmistettujen V1500-varastomassojen levitykses-tä saman kesän aikana on pääsääntöisesti hyviä kokemuksia. Kun levitys-lämpötila laskee 10-15 °C:n lämpötilaan, massan työstettävyyys heikkenee ja levitysjäljestä saattaa tulla epätasainen. Useita vuosia vanhojen varasto-massojen levityksestä ei ole laajaa kokemusta. Asfalttiasemilla varastomas-sojen valmistamisesta ei vielä ole kokemuksia yhtä paljon kuin höryylämmi-tystekniikasta. Sekä asfalttiasemilla että turboasemilla valmistettuihin V1500-paikkausmassoihin on oltu tyytyväisiä. Kylmällä ilmalla työskenneltä-essä paikkausmassaa on säilytetty sisätiloissa tai lämpölavalla ennen käyttöä.

## 5.4 PAB-V-päällysteiden kestoikä

Vauriokartoituksen tulosten perusteella ei vielä voida eritellä kestoikään vai-kuttavia päällysteen ominaisuuksia. Vanhin kartoitettu koetie oli vasta viiden vuoden ikäinen. Pääosin kaikki koetiet ovat hyvässä kunnossa. PVI-mitta-uksista saatavia vauriosummia vertailtaessa neljä viime vuosien aikana mi-tattua koetietä ovat vähintäänkin yhtä hyvässä kunnossa kuin vastaavan ikäiset inventoidut PAB-O-tiet keskimäärin.



### 5.5 Jatkotutkimukset

Tutkimusten lähtökohtana olleista olettamuksista vain toiseen saatiin vastaus kesän 1996 tutkimusten perusteella. Huonolla palamisella ei ollut yhteyttä massan vedenkestävyyden heikkenemiseen (*oletus 2*). Sen sijaan kiviaineksen hienoainesominaisuuksien vaikutus massan vedenkestävyyteen (*oletus 1*) vaatii vielä lisätutkimuksia. Jotta massanvalmistus hallittaisiin kaikissa tilanteissa, tulisi kiviaineksen hienoainesominaisuuksien, kiviaineksen vesipitoisuuden ja massan vedenkestävyyden välinen yhteys tuntea paremmin, samoin kiviainesta lämmittävän höyryn lämpötilan vaikutus kiviaineksen vesipitoisuuteen eri lämpötila-alueilla.

Varastomassojen osalta tulisi vielä selvittää, mitä ominaisuuksia levityskalustolta varastoitua PAB-V-massaa levitettäessä vaaditaan parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Seurantaohjelmaan valittujen kohteiden seurantaa jatketaan kolmen vuoden välein ja aina ennen uudelleen päällystystä tehtävillä vauriokartoituksilla ja tasaisuusmittauksilla.

## 6 LÄHTEET

### Kirjallisuus

1. Apilo, L. Pehmeiden emulsiotekniikalla valmistettujen asfalttipäällysteiden suunnittelu. VTT julkaisuja 816. Espoo 1996. 152 s.
2. Neste Oy. Öljykattilalaitoksen käyttö- ja suunnittelutietoa. Valtion painatuskeskus. Helsinki 1989. 230 s.
3. Rämö, R. Öljysorapäällysteet. Neste Oy, Rakentajain kustannus Oy. Porvoo 1989. 102 s.
4. Apilo, L., Eskola, K. PAB-V -tutkimukset 1995. Tielaitoksen selvityksiä 82/1995. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki 1995. 38 s.
5. Wahlström, E., Hallanaro, Eeva-L., Manninen, S. Suomen ympäristön tulevaisuus. Edita, Suomen ympäristökeskus. Helsinki 1996. 272 s.
6. Pylkkänen, K. Bitumiöljyn ja kiviaineksen välinen tartunta öljysorapäällysteessä, osa II. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987-1992. Espoo 1990. 56 s.
7. Onikki, R. Noen ja polttoöljyn vaikutus pehmeässä asfalttimassassa. Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi. Espoo 1996. 5 s.
8. Emulsiopäällystekoeet 1992.93. Vauriokartoitus 1994. Tielaitos, Kehittämiskeskus 1994. Moniste.
9. Eskola, K. Pehmeän bitumin kokeilut 1994. Tielaitoksen selvityksiä 5/95. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki 1995.
10. Putkuri, A. Muistio 8.10.96, Savo-Karjalan tiepiiri.

### Haastattelut

11. Kalottikone Oy. Ahola, H. Keskustelut palamiskaasuhöyrynehtin- menetelmästä. 1996...1997.
12. Polarmatic Oy. Väänänen, R., Vilen, M. Keskustelut palamiskaasu- höyrynehtin -menetelmästä. 1996...1997.
13. Neste, Polttolaboratorio. Virkki, J., Krum, P. Keskustelut savukaasun mittauksesta ja palamistapahtumasta. Porvoo 1996...1997.
14. Turun tiepiiri, Raison tiemestariipiiri. Ristiluoma, A. Keskustelut 1996...1997.

### Ohjeet

15. PPM 900 sarjan kannettava savukaasuanalysointori, Valmistaja PPM-Systems Oy, Espoo.



16. PANK-2106. Kiviainekset, humuspitoisuus NaOH-menetelmällä. Päällystealan neuvottelukunta 15.6.1995. 2 s.
17. PANK-2108. Kiviainekset, veden adsorptio. Päällystealan neuvottelukunta 8.8.1996. 4 s.
18. PANK-2111. Kiviainekset, humuspitoisuus polttomenetelmällä. Päällystealan neuvottelukunta 15.6.1995. 3 s.
19. PANK-4304. Tarttuvuusarvon määrittäminen MYR-menetelmällä. Päällystealan neuvottelukunta 23.5.1995. 2 s.

## 7 LIITTEET

1. MYR-kenttäkokeiden tulokset
2. Savukaasumittaustulokset
3. Vauriokartoituksen tulokset



# LIITE 1 1 (6)

Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartuke (sideaineen määrästä):

Huom:

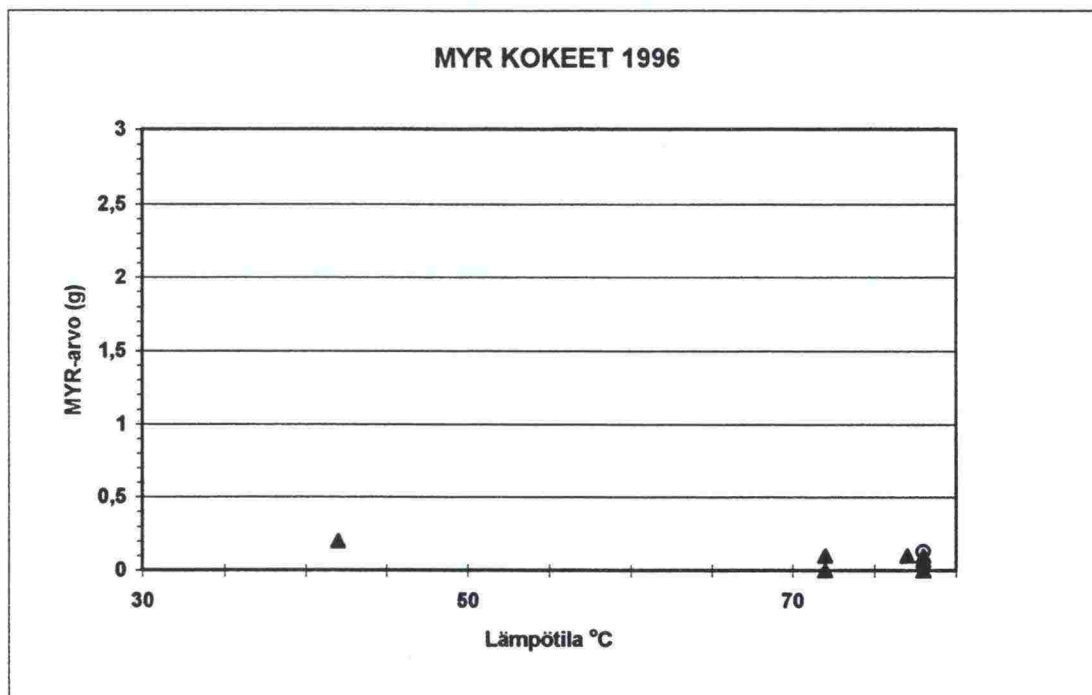
Lövböle 4.6.1996

PAB-V 16 (KaM + Hk)

V 1500 / 3,40%

1,00 %

o = kaksi samaa arvoa



Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

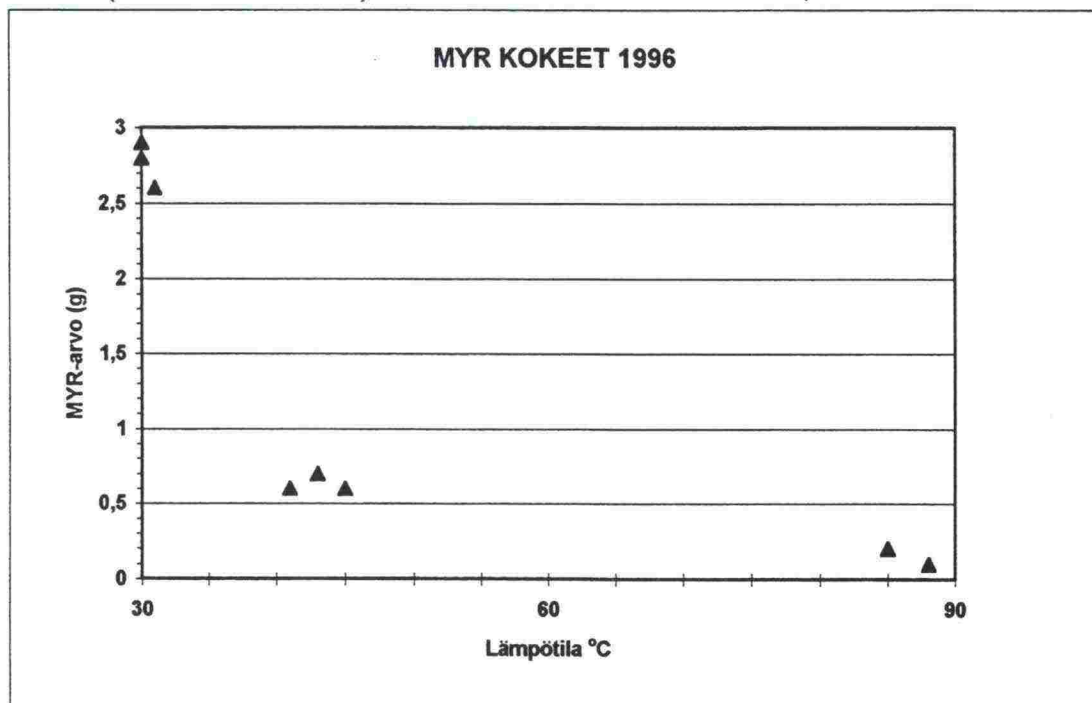
Tartuke (sideaineen määrästä):

Honkanen 19.6.1996

PAB-V 16 (SrM)

V 3000 / 3,60%

0,80 %



## LIITE 1

### 2 (6)

Asema / aika:

Honkanen 2.7.1996

Massa:

PAB-V 16 (SrM)

Sideaine:

V 1500 / 3,60%

Tartuke (sideaineen määrästä):

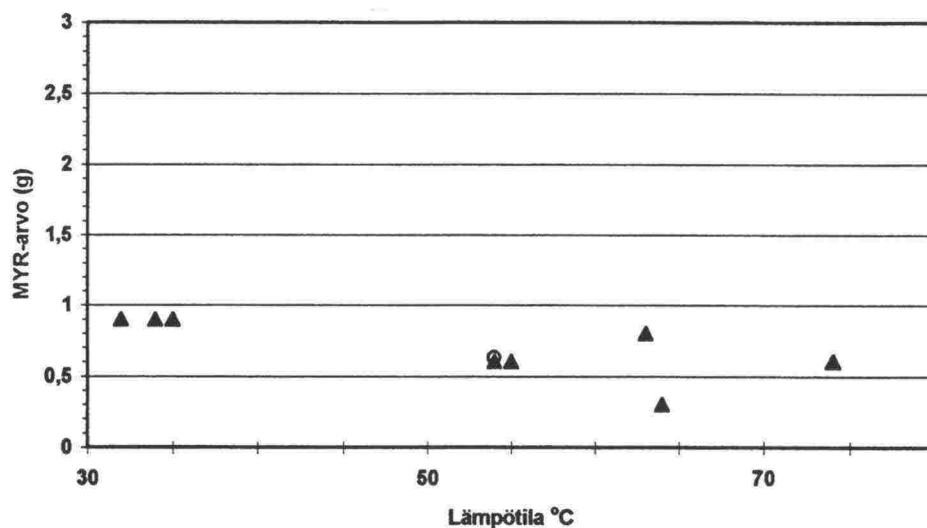
0,80% (sideaineen määrästä)

Huom:

Massan lämmön ollessa 146 °C MYR-arvo oli 0,0

o = kaksi samaa arvoa

MYR KOKEET 1996



Asema / aika:

Haikne 27.6.1996

Massa:

PAB-V 16 (KaM)

Sideaine:

V 1500 / 3,50%

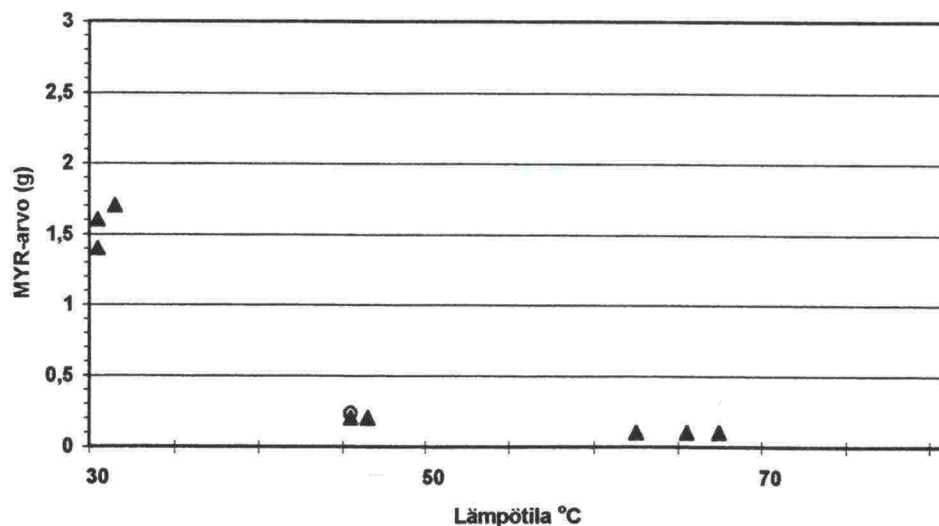
Tartuke (sideaineen määrästä):

0,60 %

Huom:

o = kaksi samaa arvoa

MYR KOKEET 1996





Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartukepitoisuus (sideaineen määrästä):

Huom:

Hirvikallio 10.7.1996

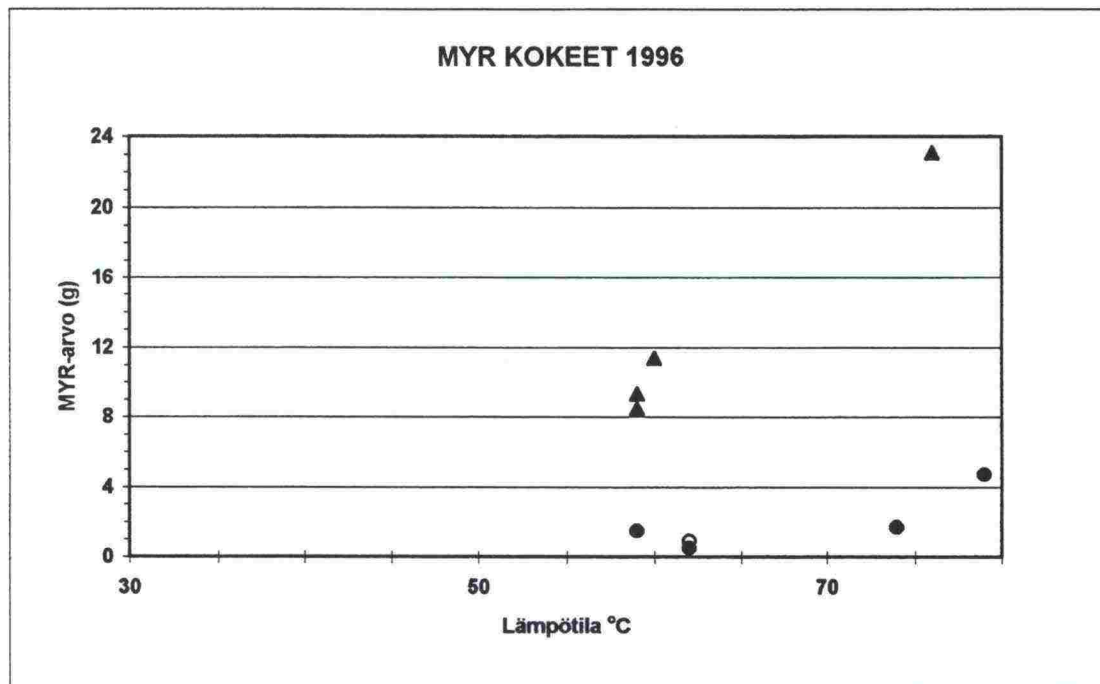
PAB-V 16 (SrM)

V 1500 / 3,50%

1,00% kolmiot ja 0,80% ympyrät

MYR-arvoasteikko !

o = kaksi samaa arvoa



Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

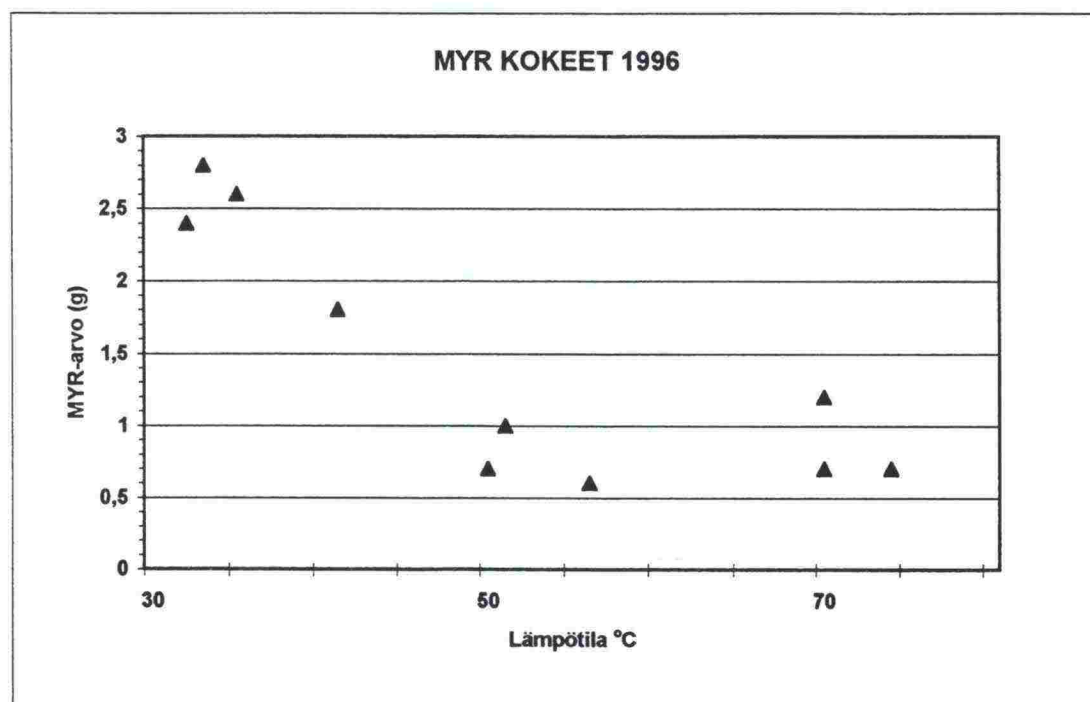
Tartukepitoisuus (sideaineen määrästä):

Pekastinvaara 11.7.1996

PAB-V 16 (KaM 65% + RC 35%)

V 1500 / 2,47%

0,80 %



**LIITE 1**  
**4 (6)**

Asema / aika:

Tupuri 8.8.1996

Massa:

PAB-V 16 (KaM)

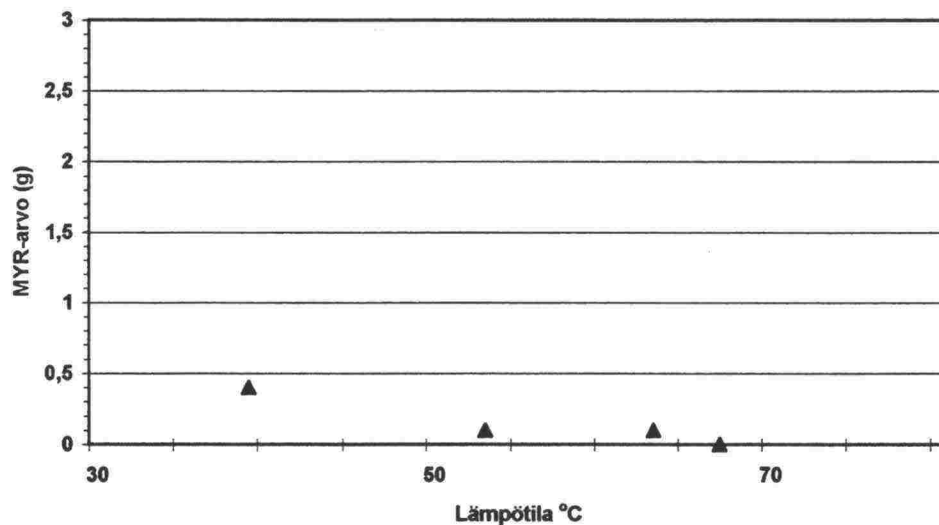
Sideaine:

V 1500 / 3,40%

Tartuke (sideaineen määrästä):

1,00 %

**MYR KOKEET 1996**



Asema / aika:

Laajakumpu 13.8.1996

Massa:

PAB-V 16 (SrM)

Sideaine:

V 1500 / 3,50%

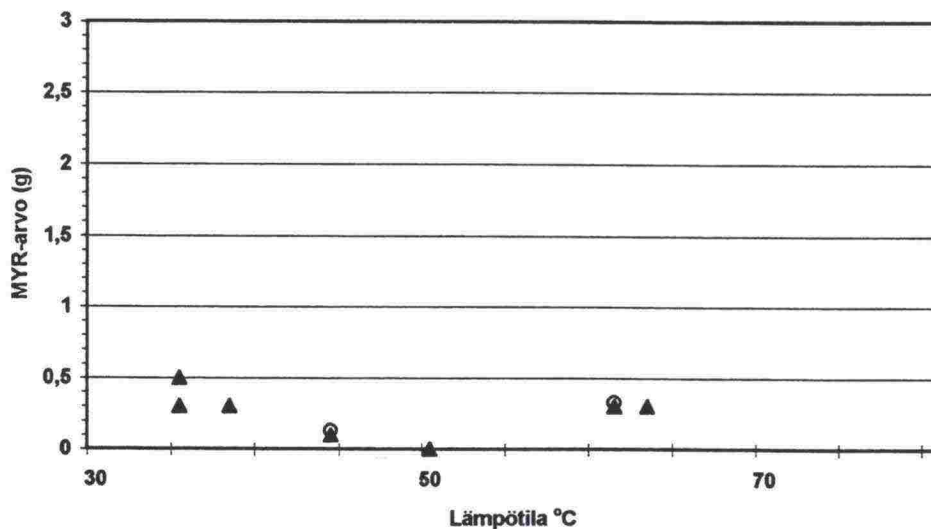
Tartukepitoisuus (sideaineen määrästä):

0,60 %

Huom:

o = kaksi samaa arvoa

**MYR KOKEET 1996**





**LIITE 1**  
**5 (6)**

Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartuke (sideaineen määrästä):

Huom:

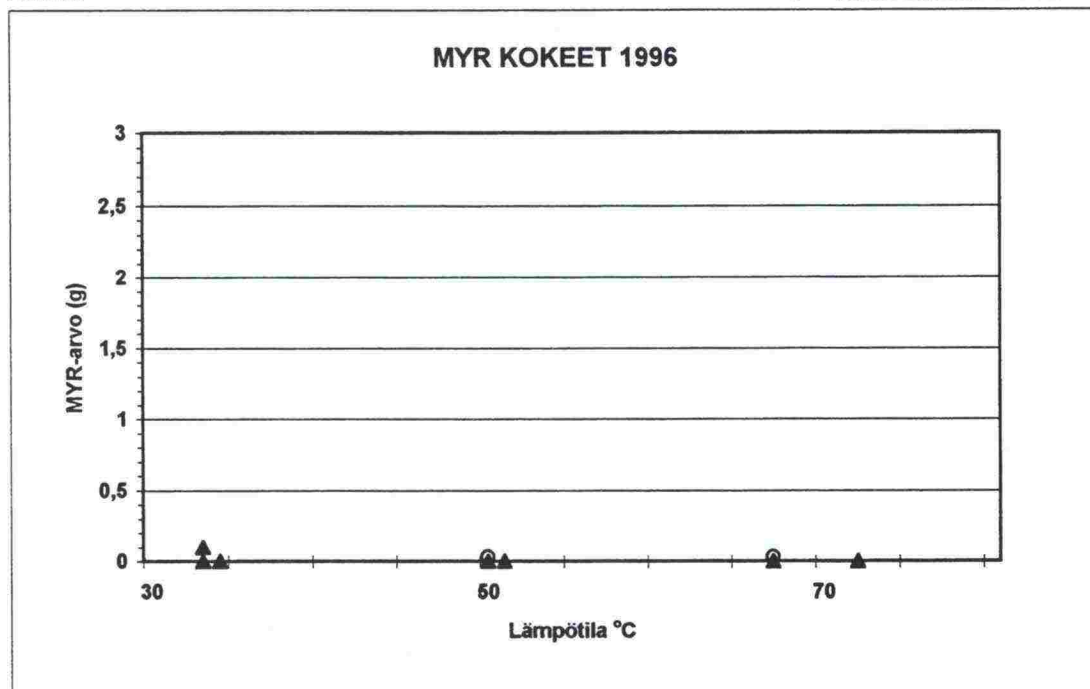
**Huuhkonvuori 15.8.1996**

PAB-V 16 (SrM)

V 1500 / 3,40%

0,60 %

o = kaksi samaa arvoa



Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartuke (sideaineen määrästä):

Huom:

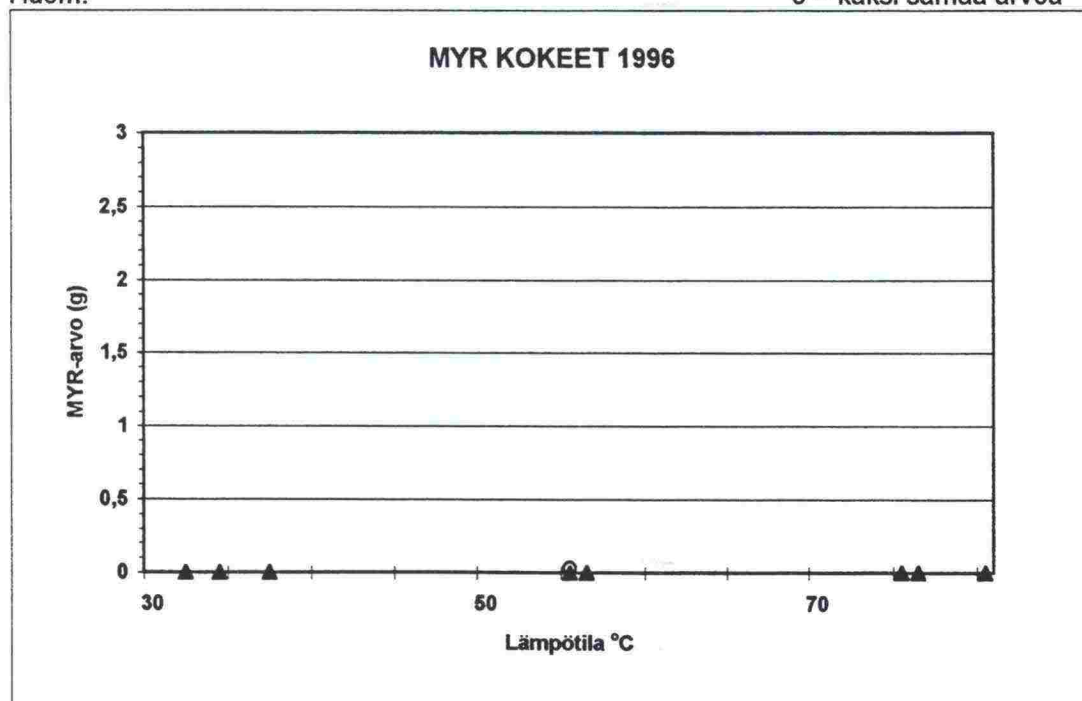
**Kallioselkä 28.8.1996**

PAB-V 18 (SrM)

V 1500 / 3,25%

0,60 %

o = kaksi samaa arvoa



**LIITE 1**  
**6 (6)**

Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartuke (sideaineen määrästä):

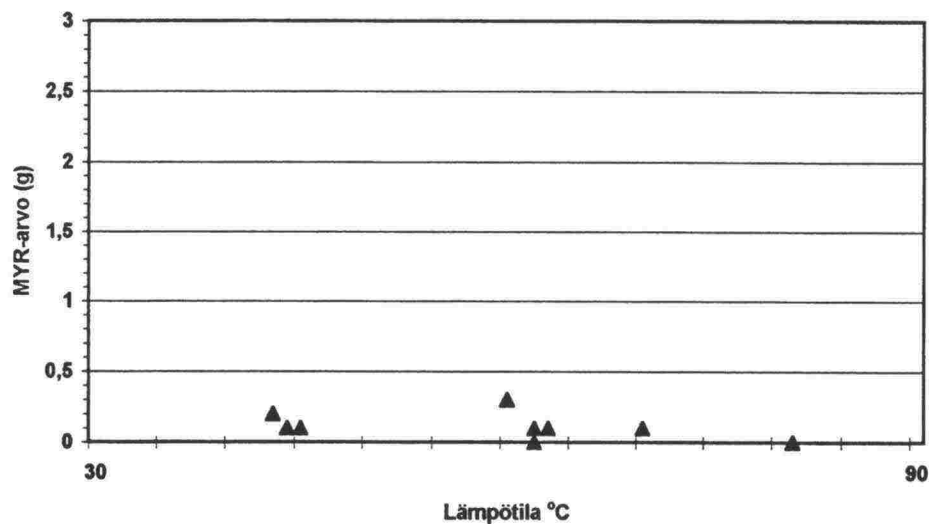
**Rippu 12.9.1996**

PAB-V 16 (KaM)

V 1500 / 3,50%

1,00 %

**MYR KOKEET 1996**



Asema / aika:

Massa:

Sideaine:

Tartuke (sideaineen määrästä):

Huom:

**Risten 13.9.1996**

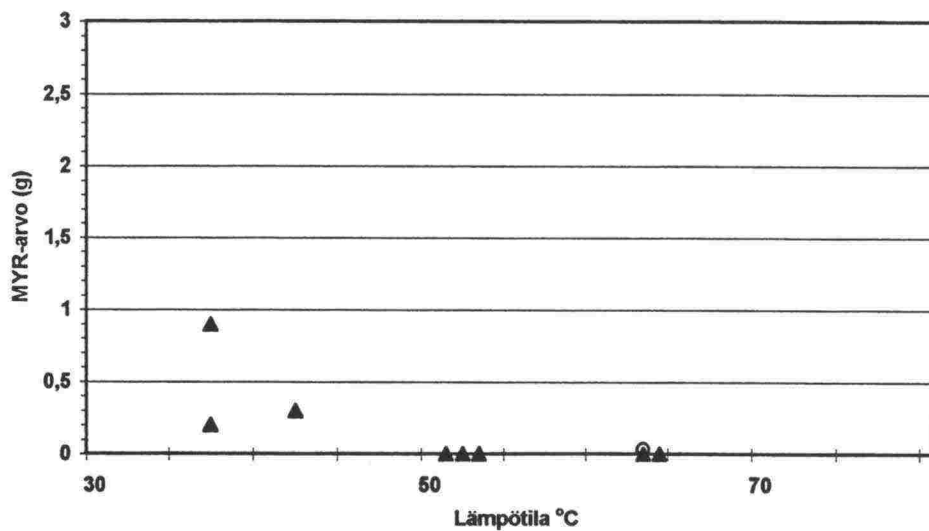
PAB-V 16 (KaM)

V 1500 / 3,40%

0,70 %

o = kaksi samaa arvoa

**MYR KOKEET 1996**





Asema 1	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm	
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin
polttin 1	3,8	4,3	245	277	33	43
polttin 2	2,4	2,5	651	752	54	62
polttin 3	2,8	3,0	300	351	49	57
polttin 4	2,7	2,8	532	619	41	50

Asema 1 (Uusinta)	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	4,0	4,1	119	127	44	46	
	5,1	5,3	28	32	41	43	(Pienempi PÖ-paine)
polttin 2	2,7	2,9	224	227	64	64	
	4,2	4,2	39	42	52	54	(Pienempi PÖ-paine)
polttin 3	4,0	4,1	233	252	58	59	
	5,3	5,4	85	88	46	47	(Pienempi PÖ-paine)
polttin 4	3,5	3,9	794	964	48	50	
	4,6	4,8	128	170	49	51	(Pienempi PÖ-paine)

Asema 2	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	2,2	2,5	482	642	64	68	
*)	4,6	5,0	34	48	57	59	(Pienempi PÖ-paine)
polttin 2	2,4	2,6	82	90	62	63	
polttin 3	1,7	3,1	51	830	47	54	
*)	4,2	5,0	9	24	50	55	
polttin 4	3,4	3,5	61	75	45	47	

\*) Polttimoissa 1 ja 3 kiristettiin lisäksi ilman varoventtiilit uusintamittauksen aikana

Asema 3	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	9,5	9,6	1	1	46	51	
polttin 2	10,1	10,2	1	1	41	46	
	8,9	8,9	4	4	60	60	(Suurempi PÖ-paine)
polttin 3	8,5	8,6	1	1	55	57	
polttin 4	9,8	9,8	9	9	53	55	

Asema 4	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm	
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin
polttin 1	9,3	9,5	1	3	35	39
polttin 2	7,1	7,6	2	2	49	49
polttin 3	7,9	8,3	3	3	46	47
polttin 4	8,8	9,0	4	4	39	40

Asema 5	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	4,7	5,0	1	2	52	52	
polttin 2	5,4	5,4	0	0	47	48	
polttin 3	5,8	6,0	1	1	52	53	
polttin 4	5,9	6,1	1	1	47	48	
	3,9	4,0	70	85	50	51	(Suurempi PÖ-paine)

Asema 5 (uusinta)	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	5,0	5,2	43	51	50	53	
	5,5	5,6	36	44	60	61	(Suodatin puhdistettuna)
	5,8	5,9	30	44	58	62	(Ilman suodatinta)
polttin 2	6,1	6,5	11	14	69	73	
polttin 3	6,2	6,3	12	13	63	64	
polttin 4	6,6	6,6	11	14	54	54	

(kompressorin suodattimet olivat kuusi viikkoa puhdistamatta)

Asema 6	O <sub>2</sub> %		CO ppm		NO <sub>x</sub> ppm		
	pienin	suurin	pienin	suurin	pienin	suurin	
polttin 1	8,0	8,1	45	47	52	53	(Suutin 6.0gal/45ast.)
	10,4	10,5	21	22	53	54	(Pienempi PÖ-paine)
polttin 2	8,6	8,7	4	5	49	50	(Suutin 6.0gal/45ast.)
polttin 3	7,4	7,5	5	6	61	63	(Suutin 6.5gal/60ast.)
polttin 4	6,4	6,5	13	13	61	63	(Suutin 6.5gal/60ast.)

T-piiri, ASTO 1991  
Mt 2460, Harjavalta

3/5488

		Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
1.12 (467 m)	3/5021												
1.6 (770 m)	3/4251	1.12 PAB-O, Yliv.gran. BÖ-2/1 T13 /3,3%	467	mol	79	5	29	6	195	3	1	3	3
	3/3451	1.6 PAB-O, Sukaran SrM BÖ-2/9 T13 /3,5%	770	mol	140	5	0	0	240	58	3	0	3,5
1.7 (673 m)	3/2778	1.7 PAB-V, Sukaran SrM BE-PAB3 /6,35%	673	mol	171	7	46	0	139	0	0	0	3,5
1.9 (759 m)	3/2019	1.9 PAB-V 102 °C V3000 T06 /4,1%	759	mol	259	7	28	1	209	0	0	5	2,4
1.10 (767 m)	3/1252	1.10 PAB-B 124 °C V6000 T06 /4,3%	767	mol	360	16	0	9	9	2	0	1	2,3
1.11 (771 m)	3/ 481	1.11 PAB 123 °C B-15000 /4,5%	771	mol	227	17	0	3	16	3	0	0	1,5
1.8 (682 m)	2/5413	1.8 PAB-B, Sukaran SrM BE-PAB6 /6,45%	682	mol	53	14	0	0	42	1	0	11	2,8
	2/4434	1.5 PAB-O, Sukaran SrM BÖ-2/8 T13 /3,6%	802	mol	79	10	21	0	101	59	0	1	2,3
1.5 (802 m)	2/3632	1.3 PAB-O, Suom.perid. BÖ-2/1 T13 /3,0%	609	mol	21	1	0	0	58	2	22	32	2,7
1.3 (609 m)	2/3003	1.4 PAB-O, Sukaran SrM BÖ-2/3 T13 /3,4%	710	mol	105	6	0	20	227	5	3	0	1,8
1.4 (710 m)	2/2293	1.1 PAB-O, Yliv.gran. BÖ-2/1 T13 /3,3%	747	mol	67	5	0	10	164	10	1	2	2,4
1.1 (747 m)	2/2190	1.2 PAB-O, Sukaran SrM BÖ-2/1 T13 /3,4%	763	mol	92	6	0	7	50	30	14	17	3
1.2 (763 m)	2/1443												
	2/ 680												

Vauriokartoitus kesäkuu 1996

LITE 3  
1 (9)



T-piiri 1992  
Mt 210, Yläne-Virttaa

1.	(784m)	6/1813
2.	(1400m)	6/1029
3.	(717m)	5/6219
2.	(758m)	
4.	(67m)	
5/4518		5/4677
4.	(1384m)	
5.	(930 m)	
6.	(2318m)	
6.	(40m)	
8.	(655m)	
		5/ 45

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk. (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
<b>1 PAB-O16</b> BÖ-2 T13 3,6 %	784	mol	294	2	16	10	47	13	2	25	2,4
<b>2 PAB-V16 L</b> BE-PAB3 T0,85 3,5 %	1400	mol	525	15	79	0	129	3	1	1	2,2
	717	vas	158	5	0	0	0	13	1	60	
	758	mol	71	1	0	0	59	26	6	121	3,1
	226	vas	31	0	0	0	0	2	3	14	
<b>3 PAB-V16</b> BE-PAB3 T0,85 3,5 %	717	oik	72	2	0	19	0	51	1	126	3,4
<b>4 PAB-B16</b> <b>PAB-B16 L</b> BE-PAB6 T0,85 4,3 %	67	oik	0	0	0	0	0	0	1	25	
	1225	mol	195	10	7	0	102	11	5	143	
	159	oik	0	0	0	0	59	0	0	8	2,0
<b>5 PAB-V16 L</b> BE-PAB1 T0,85 3,5 %	1623	vas	140	20	26	0	0	2	0	5	
	930	mol	357	3	5	0	0	5	4	32	2,7
<b>6,7 PAB-V16 L</b> BE-PAB3 T0,85 3,5 %	40	vas	38	9	3	0	0	1	0	3	
	2318	oik	126	19	25	0	0	1	0	1	2,2
<b>8 PAB-V16 L</b> BE-PAB1 T0,85 3,5 %	655	vas	165	9	3	0	0	5	0	0	2,4

Vauriokartoitus kesäkuu 1996

KaS-piiri 1992  
Pt 14535, Pyhtää

			Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	lajittuma (m2)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
1.	(660m)	3/3035	<b>1 PAB-V16</b> BE-PAB3 3,7 %	660	mol	3	2	0	0	5	3	1	1	2,1
2.	(658m)	3/2375	<b>2 PAB-V16 L</b> BE-PAB3 3,7 %	658	mol	8	4	0	0	4	1	1	0	2,3
3.	(677m)	3/1717	<b>3 PAB-V16</b> BE-PAB3 3,4 %	677	mol	28	7	11	12	7	2	1	0	2,7
4.(720m)	(605m)	3/1040	<b>4 PAB-V16</b> BE-PAB3 3,4 % Ylikkälä KaM	605 720	oik vas	0	3	0	0	3	4	0	1	3,1
5.	(1505m)	3/435	<b>5 PAB-O16</b> BÖ-2 3,5 %	1380 1505	oik vas	239	8	47	24 m reunap.	12	7	2	1	3,9

3/320

T-piiri 1993  
Pt 13539 Lahti, Somero

			Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
1.	(623m)	1/483	<b>1 PAB-V16</b> BE-PAB1/ 3,55 % 55/45 SrM 0-6/6-16	623	mol	114	0	51	0	151	3	5	0	2,0



T-piiri 1993  
Mt 1835, Kumpula-Kemiö

1. (990m)	1. (1038m)
2. (818m)	2. (1084m)
3. (1309m)	3.(800m)
4.(677m)	4.(872m)
5. (1678m)	5. (1612m)
6.(285m)	6.(451m)
7.(643m)	7.(715m)
1. (1293m)	1. (1634m)
8. (1237m)	8.(724m)

1/111

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
<b>1 PAB-V16</b> BE-PAB1/ 3,39% 50/50 SrM 0-6/6-16	1038 990 1634 1293	oik vas oik vas	356	26	7	0	2	17	3	8	2,7  2,0
<b>2 PAB-O16</b> BÖ-2 T13/ 3,52% 50/50 SrM 0-6/6-16	1084 818	oik vas	608	9	13	0	0	2	0	0	2,6
<b>3 PAB-V16</b> emulg.V1000/3,31% 50/50 SrM 0-6/6-16	800 1309	oik vas	178	4,5	27	0	0	7	1	2	2,5
<b>4 PAB-V16</b> BE-PAB3/ 3,36% 50/50 SrM 0-6/6-16	872 677	oik vas	189	6	0	0	0	4	0	2	2,2
<b>5 PAB-V16</b> emulg.V1000/3,51% 100% SrM 0-16	1612 1678	oik vas	1031	17	28	0	16	3	0	2	2,4
<b>6 PAB-V16</b> BE-PAB1/ 3,47% 60/40 KaM 0-8/6-16	451 285	oik vas	241	2	6	0	36	1	1	1	2,5
<b>7 PAB-V16</b> BE-PAB1/ 3,61% 50/50 KaM 0-4/4-16	715 643	oik vas	199	1,5	4	0	20	1	0	0	1,8
<b>8 PAB-V16</b> BE-PAB1/ 3,61% 50/50 SrM 0-6/6-16	724 1237	oik vas	161	10	0	0	0	6	0	1	1,8

Vauriokartoitus kesäkuu 1996

LITE 3  
4 (9)

L-piiri 1993  
Pt 19575, Tervola

15. (2585m)	15. (2590m)	8/5835
17. (829m)	17 (854m)	
16. (852m)	16 (822m)	
15. (879m)	15. (886m)	
14. (785m)	14. (785m)	
13. (785m)	13. (785m)	
12. (785m)	12. (785m)	
11. (785m)	11. (785m)	
10. (1352m)	10. (1331m)	
9. (229m)	9. (257m)	
8. (257m)	8. (257m)	5/106
7. (2808m)	7. (2728m)	
6. (2728m)	6. (2728m)	
5. (2728m)	5. (2728m)	
4. (2728m)	4. (2728m)	
3. (2728m)	3. (2728m)	
2. (2728m)	2. (2728m)	
1. (2728m)	1. (2728m)	

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)	IRI4
17 PAB-B 18 L BE 650/900 /3,7%	829 854	vas oik	6	24	0	0	0	1	0	0	1,6	1,2
16 PAB-B 18 L BE 650/900 /4,3%	852 822	vas oik	26	12	17	0	0	0	0	0	2	1,4
15 PAB-B 18 L BE 650/900 /4,0%	2585 2590 879 886	vas oik vas oik	280	77	48	0	0	13	9	1	2,1	1,4
14 PAB-B 18RC50 B650/900 /4,3%	404 785	vas oik	60	11,5	0	0	0	0	0	0	1,9	1,3
13 PAB-B 18RC50 B650/900 /4,3%	392	vas	21	3,5	2	0	0	9	0	0	1,9	1,2
12 PAB-B 18RC50 B650/900 /4,2%	629 757	vas oik	86	7,5	0	0	0	0	0	1	1,7	1,3
11 PAB-B 18RC50 BE 650/900 /4,0%	861 703	vas oik	33	10	0	0	0	0	0	0	2,1	1,4
10 PAB-B 18RC50 BE-PAB3 /4,0%	1352 1331	vas oik	158	18	7	0	8	1	0	0	1,9	1,3
9 PAB-B 18 BE-PAB3 /4,0%	229 257	vas oik	6	2	0	0	0	0	0	0	2,5	2,1
8 PAB-B 18 BE-PAB3 /4,0%	847 815	vas oik	330	9	9	0	0	0	0	0	1,9	1,2
7 PAB-V18 L BE-PAB3 /3,4%	2808 2728	vas oik	160	23	0	0	0	7	0	0	1,7	1,2
6 PAB-V18 L V1500 /3,4 %	546 611	vas oik	19	6	12	0	0	0	0	0	1,7	1,2
5 PAB-O 18 L BÖ-2T10 /3,4 %	790	oik	0	3	0	0	0	2	1	0	1,4	1,1
4 PAB-O 18 L BÖ-2T /3,4%	896 121	vas oik	7	3	0	0	0	1	0	0	1,4	1
3 PAB-O 18 BÖ-2T13/3,4%	958 823	vas oik	28	10,5	0	0	0	3	0	0	1,9	1,4
2 PAB-V18 BE-PAB1 /3,4%	534 785	vas oik	18	4,5	0	0	0	1	0	0	2,1	1,3
1 PAB-V18 L BE-PAB1 /3,4%	947 831	vas oik	12	6	0	0	0	8	0	3	1,9	1,4

Vauriokartoitus kesäkuu 1996



SK-piiri 1994  
Mt 5731, Kaavi

5. (250m)	2. (357m)
4. (270m)	1. (253m)
3. (123m)	

4/5838

Koeosuus PAB-V16 V1500 T10	pituus (m)	kaista	pituus- halk. (m)	poikkihalk. (kpl)	keskis.- halk. (m)	verkko- halk. (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
5 3,3 % 70 °C	250	vas	72	1	0	0	10	0	1	0	2,4
4 3,3 % 60 °C	270	vas	0	0,5	7	0	0	1	1	0	2,0
3 3,5 % 50 °C	123	vas	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4
2 3,5 % 60 °C	357	oik	153	1,5	7	5	13	0	0	0	2,4
1 3,5 % 70 °C	253	oik	25	2	0	0	0	0	0	0	2,1

O-piiri 1994  
Mt 8694, Kuusamo

3.	3.
4.	5.
6.	7.
8.	8.

1/04

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk. (m)	poikki- halk. (kpl)	keskis.- halk. (m)	verkko- halk. (m2)	reuna- painuma (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
3 PAB-V 18 BE-PAB1 T07 /3,4%	4169 4123	oik vas	362	3	76	0	0	16	0	2	1,4
4 PAB-V 18 (40 °C) V1500 T06/3,4%	618	vas	31	0	0	0	0	0	0	0	1,4
5 PAB-V 18 (40°C) V3000 T06/3,4%	653	oik	39	0	0	0	0	2	0	0	1,4
6 PAB-V 18 (60 °C) V1500 T06/3,4%	613 1279	oik vas	97	0	0	0	0	7	0	8	1,4
7 PAB-V 18 (60 °C) V3000 T06/3,4%	610	oik	65	0	0	0	0	0	0	0	1,4
8 PAB-B 18 BE-PAB6 T06/4,3%	4752 4804	oik vas	94	10	0	0	0	4	0	0	1,6

O-piiri 1994  
Kt 88 Vihanti-Alpua

9.(480m)	8.(760m)	6/2460
7.(400m)		
	6.(580m)	
5.(460m)		
3.(600m)	4.(600m)	
1.(445m)	2.(445m)	
		6/ 75

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
<b>PAB-V16</b>											
<b>9 ARA AK5 35°C</b> V1500 T06/3,2%	480	vas	0	3,5	0	0	0	1	0	0	1
<b>8 ARA AK5 47°C</b> V3000 T06/3,4%	760	oik	0	6	0	0	0	2	0	0	0,9
<b>7 ARA AK5 41°C</b> V1500 T06/3,2%	400	vas	0	7,5	0	0	0	1	0	0	0,8
<b>6 ARA AK5 40°C</b> V3000 T06/3,4%	580	oik	3	17,5	0	0	0	0	0	0	1
<b>5 ARA AK5 46°C</b> V1500 T06/3,2%	460	vas	9	9	0	0	0	3	0	0	1
<b>4 TURBO 35-40°C</b> V3000 T06/3,4%	600	oik	0	15,5	0	0	0	0	0	0	1,2
<b>3 TURBO 55-60°C</b> V1500 T06/3,2%	600	vas	13	17,5	0	0	0	1	0	0	1,2
<b>2 TURBO 55-60°C</b> V3000 T06/3,4%	445	oik	3	6	0	0	0	0	0	0	1,1
<b>1 TURBO 35-40°C</b> V1500 T06/3,2%	445	vas	17	6	0	0	0	0	0	0	1,1

Vauriokartoitus kesäkuu 1996

V-piiri 1994  
Pt 17965, Kruunupyy

1.	(3611m)	1/ 15

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
<b>1 PAB-V16</b> V1500 T06 3,5 %	3611	mol	0	6	0	0	10	43	4	0	2



Koeosuus PAB-V16 V1500 /3,4 %	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis.- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)	IRI (m/100m)
0 T 0,6 % 40 °C "normaali"	1337	oik	162	0	0	0	0	7	2	1	1,2
	1162	vas									1,3
	545	oik									
	754	vas									
1 T 0,8 % 60 °C	518 623	oik vas	244	0	0	0	0	0	0	1	1,3
2 T 0,8 % 30 °C	443 400	oik vas	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
3 T 0,4 % 60 °C	621 628	oik vas	74	0	0	0	0	1	0	0	1,2
4 T 0,4 % 30 °C	655 739	oik vas	51	2	0	0	0	0	0	0	1,4
5 T 0,2 % 60 °C	396 338	oik vas	0	0	0	0	0	0	0	1	1,3
6 T 0,2 % 30 °C	316 187	oik vas	40	0	0	0	0	0	1	0	1,4

KaS-piiri 1995  
Pt 15283 Mataramäki

1/4305

0.	0.
	1.
1.	
2.	2.
3.	3.
4.	4.
5.	5.
6.	6.
0.	0.
0.	

1/0

Pieksämäki

Vauriokartoitus kesäkuu 1996

Koeosuus	pituus (m)	kaista	pituus- halk (m)	poikkihalk (kpl)	keskis- halk (m)	verkko- halk (m2)	reunapai- numa (m)	purkau- ma (m2)	reikä (m2)	paikka (m2)
8 Olli-Viiri-95 V1500 T08/3,6%	138	vas	45	1	8	0	12	0	0	0
7 Niinimaa-94,paikkaus V1500 T10/5,0%	29 101	oik vas	14	0	0	0	0	2	0	0
6 Kettuharju-94 V3000 T08...10/3,4%	134	vas	0	0,5	0	0	0	0	0	0
5 Hommaseikä-94 V1500 T08...10/3,4 %	53	vas	5	0	0	0	0	0	0	0
4 Palovaara-94 V1500 T08/3,4%	132	oik	16	1	9	0	3	0	0	0
3 Orresokka-93 V1500 T08/3,5%	38	oik	3	0	0	0	0	0	0	0
2 Orresokka-93 V3000 T08/3,5%	92	vas	0	0	0	0	0	0	0	0
1 Piirtikoski-92 V3000 T06...16/3,55%	135	oik	0	0,5	0	0	0	1	0	0

L-piiri 1995  
Pt 9523 Norvajärvi

8.	7.	2/4106
	4.	
5.		
	3.	
6.	2.	
	1.	
7.		

2/3687  
Rovaniemi



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444
- 78/1996 Moreenin rakeistaminen pellettoimalla; Nykytilaselvitys. TIEL 3200445
- 79/1996 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446
- 80/1996 Alempiasteisen tieverkon strategiat; Tienpidon kohdentamisvaikutukset kylien kehitykseen. TIEL 3200447
- 81/1996 Maankäytön ja liikenteen yhteensovittaminen kaupunkiseudulla. TIEL 3200450
- 1/1997 Sää- ja kelitietoon perustuva liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutus kuljettajien käyttäytymiseen ja käsityksiin. TIEL 3200448
- 2/1997 Liikenteen hallinnan tempukortisto. TIEL 3200449
- 3/1997 Tielaitoksen ympäristöpolitiikan arviointi. TIEL 3200451
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkereen luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat mitoituslaskelmat eurocadien ja kansallisten ohjeiden mukaan. TIEL 3200453
- 6/1997 Talviajan liikenneturvallisuus; Tilastollinen tarkastelu. TIEL 3200454
- 7/1997 Bitumiemulsion murtumisajan vaikutus päällystemassan ominaisuuksiin TIEL 3200455
- 8/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen. TIEL 3200456
- 9/1997 Tieliikenteen päästöjen vaikutusten arvottaminen; Yhteenveto. TIEL 3200457
- 10/1997 Valuation of Impacts of Road Traffic Emissions; Summary. TIEL 3200457E
- 11/1997 Betonipäällysteen seuranta vt 4 Kempele-Kiviniemi. Kuntoraportti TIEL 3200458
- 12/1997 Alempiasteisen tieverkon strategiat. Tienpidon kohdentamisen vaikutukset kuljetuksiin. TIEL 3200459
- 13/1997 Tieliikenneolojen kokeminen Suomessa. Henkilö- ja kuorma-autoilijoiden mielipiteet tienpidon kehittämistarpeista. TIEL 3200460
- 14/1997 Vuoropuheluopas. TIEL 3200461
- 15/1997 Erikoiskovabitumistabilointikokeilut. TIEL 3200462
- 16/1997 Tiekokemus, tierakenteet ja taide. TIEL 3200463
- 17/1997 Autoilukokemus. Mekanisoitu liike ja virtualisoituva maisema. TIEL 3200464
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-345-7  
TIEL 3200466